

Requested Patent: JP5041897A  
Title: SPEAKER EQUIPMENT AND DIRECTIVITY CONTROL METHOD ;  
Abstracted Patent: JP5041897 ;  
Publication Date: 1993-02-19 ;  
Inventor(s): YANAGAWA HIROBUMI; SAITO KEISHI; HAGIWARA SUMIO ;  
Applicant(s): PIONEER ELECTRONIC CORP ;  
Application Number: JP19910197864 19910807 ;  
Priority Number(s): JP19910197864 19910807 ;  
IPC Classification: H03H17/02; H04R1/40; H04R3/12 ;  
Equivalents: DE4205037, GB2259426, US5233664 ;

ABSTRACT:

PURPOSE: To realize the speaker equipment and the directivity control method able to control variably and optionally not only the directivity in 2-dimension direction but also the directivity in 3-dimension through electric signal processing.

CONSTITUTION: The equipment is provided with a common input terminal IN receiving a voice signal to be sounded, plural speaker units SP1-SPm arranged in a line, and plural digital filters DF1-DFm whose filter coefficient calculated by the nonlinear optimizing method in response to the object directivity pattern of the sound radiation by the plural speaker units SP1-SPm are set corresponding to the speaker units SP1-SPm while being inserted and connected between the common input terminal IN and the speaker units SP1SPm.

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-41897

(43)公開日 平成5年(1993)2月19日

(51)Int.Cl. <sup>3</sup>	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
H 0 4 R 1/40	3 1 0	8946-5H		
H 0 3 H 17/02		Z 7259-5 J		
H 0 4 R 3/12		Z 8622-5H		

審査請求 未請求 請求項の数4(全 29 頁)

(21)出願番号	特願平3-197864	(71)出願人	000005016 パイオニア株式会社 東京都目黒区目黒1丁目4番1号
(22)出願日	平成3年(1991)8月7日	(72)発明者	柳川 博文 東京都大田区大森西4丁目15番5号 パイオニア株式会社大森工場内
		(72)発明者	齊藤 恵志 東京都大田区大森西4丁目15番5号 パイオニア株式会社大森工場内
		(72)発明者	荻原 純夫 埼玉県所沢市花園4丁目2610番地 パイオニア株式会社所沢工場内
		(74)代理人	弁理士 石川 泰男 (外1名)

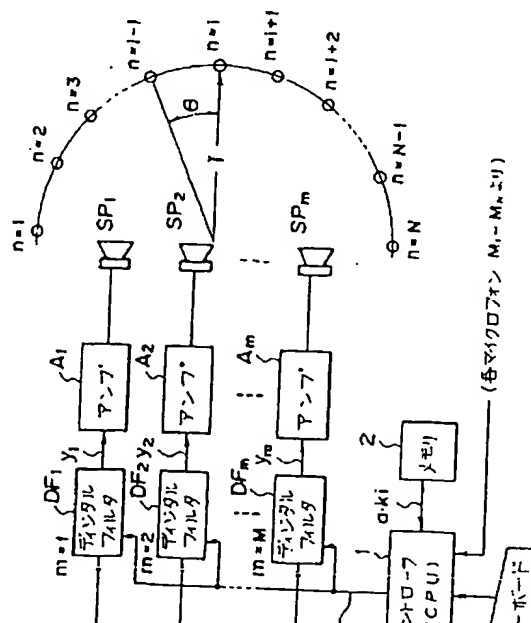
(54)【発明の名称】 スピーカ装置およびその指向性制御方法

(57)【要約】

【目的】 2次元方向の指向性のみならず3次元方向の指向性をも電気的信号処理により任意に可変制御しうるスピーカ装置および指向性制御方法を提供する

【構成】 音響放射すべき音声信号が供給される共通入力端子と、直線状に配列された複数のスピーカユニットと、前記共通入力端子と前記各スピーカユニットとの間に挿入接続され、前記複数のスピーカユニットによる音響放射の目標指向性パターンに応じて非直線最適化手法により算出されたフィルタ係数が、接続される各スピーカユニットに対応して設定される複数のデジタルフィルタと、を備える。

本発明に係るスピーカ装置の実施例を示すブロック図



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 音響放射すべき音声信号が供給される共通入力端子と、

直線状に配列された複数のスピーカユニットと、  
前記共通入力端子と前記各スピーカユニットとの間に挿入接続され、前記複数のスピーカユニットによる音響放射の目標指向性パターンに応じて非直線最適化手法により算出されたフィルタ係数が、接続される各スピーカユニットに対応して設定される複数のデジタルフィルタと、

を備えたことを特徴とするスピーカ装置。

【請求項 2】 音響放射すべき音声信号が供給される共通入力端子と、

縦横マトリクス状に平面配置された複数のスピーカユニットと、

前記共通入力端子と前記各スピーカユニットとの間に挿入接続され、前記複数のスピーカユニットによる音響放射の目標指向性パターンに応じて非直線最適化手法により算出されたフィルタ係数が、接続される各スピーカユニットに対応して設定される複数のデジタルフィルタと、

を備えたことを特徴とするスピーカ装置。

【請求項 3】 音響放射すべき音声信号が供給される共通入力端子と、

ハニカム状に平面配置された複数のスピーカユニットと、

前記共通入力端子と前記各スピーカユニットとの間に挿入接続され、前記複数のスピーカユニットによる音響放射の目標指向性パターンに応じて非直線最適化手法により算出されたフィルタ係数が、接続される各スピーカユニットに対応して設定される複数のデジタルフィルタと、

を備えたことを特徴とするスピーカ装置。

【請求項 4】 共通信号入力端子と直線配列もしくは平面配列された複数のスピーカユニットとの間のそれぞれに、前記各スピーカユニットに対応して、デジタルフィルタが挿入接続されてなるスピーカ装置の指向性制御方法であって、

前記複数のスピーカユニットからの音響放射の目標指向性パターンに応じた前記各デジタルフィルタのフィルタ係数を非直線最適化手法により演算する過程と、

前記算出された各フィルタ係数をそれぞれ対応するデジタルフィルタに設定する過程と、

を含むことを特徴とするスピーカ装置の指向性制御方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明はスピーカ装置およびその指向性制御方法に係り、特に直線配列もしくは平面配列型のスピーカ装置の指向性制御技術に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 スピーカの性能を評価するための特性の一つに指向性がある。指向性とは、方向によって音圧の大きさが相違する性質である。この指向性は、一概に広い程良いといったものではなく、そのスピーカの用途、換言すれば、そのスピーカのサービス範囲によって求められるパターンが異なる。例えば、オーディオ用の場合は広い指向性を求められる場合が多いし、拡声用の場合にはハウリング防止等のために特定の方向にのみ放射するよう狭指向性となることが求められる。

【0003】 一方、スピーカの指向性を決定する要因には、単一のスピーカユニットの場合、コーン形であるかホーン形であるか等のスピーカユニット自体の構造や、コーン形スピーカの場合の振動板のコーンの深さ等がある。また、複数のスピーカユニットを用いた直線配列型（いわゆるトーンゾイレ形）のスピーカにより特定の方向にのみ放射するものもある。いずれにしても、スピーカの指向性は当該スピーカユニット自体の物理的構造もしくは配置により決定される。しかし、要求される指向性に合せたスピーカを作製するには手間がかかり、外形寸法等においても制約を受ける場合が多い。そのため、デジタルフィルタを用いて指向性パターンを電気的に制御するようにしたスピーカシステムが開発されている（特開平 2-239798 号公報参照）。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記スピーカシステムは、低域から高域までの広帯域にわたる均一な指向性を得ることを目的として構成されており、また、その文献では希望する特定方向への指向性を得るための具体的な制御方法が開示されていない。

【0005】 したがって、本発明の目的は、2次元方向の指向性のみならず3次元方向の指向性をも電気的信号処理により任意に変換制御しうるスピーカ装置および指向性制御方法を提供することにある。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】 本願第 1 の発明は、音響放射すべき音声信号が供給される共通入力端子と、直線状に配列された複数のスピーカユニットと、前記共通入力端子と前記各スピーカユニットとの間に挿入接続され、前記複数のスピーカユニットによる音響放射の目標指向性パターンに応じて非直線最適化手法により算出されたフィルタ係数が、接続される各スピーカユニットに対応して設定される複数のデジタルフィルタと、を備えて構成される。

【0007】 本願第 2 の発明は、音響放射すべき音声信号が供給される共通入力端子と、縦横マトリクス状に平面配置された複数のスピーカユニットと、前記共通入力端子と前記各スピーカユニットとの間に挿入接続され、前記複数のスピーカユニットによる音響放射の目標指向性パターンに応じて非直線最適化手法により算出された

フィルタ係数が、接続される各スピーカユニットに対応して設定される複数のデジタルフィルタと、を備えて構成される。

【0008】本願第3の発明は、音響放射すべき音声信号が供給される共通入力端子と、ハニカム状に平面配置された複数のスピーカユニットと、前記共通入力端子と前記各スピーカユニットとの間に挿入接続され、前記複数のスピーカユニットによる音響放射の目標指向性パターンに応じて非直線最適化手法により算出されたフィルタ係数が、接続される各スピーカユニットに対応して設定される複数のデジタルフィルタと、を備えて構成される。

【0009】本願第4の発明は、共通信号入力端子と直線配列もしくは平面配列された複数のスピーカユニットとの間のそれぞれに、前記各スピーカユニットに対応して、デジタルフィルタが挿入接続されてなるスピーカ装置の指向性制御方法であって、前記複数のスピーカユニットからの音響放射の目標指向性パターンに応じた前記各デジタルフィルタのフィルタ係数を非直線最適化手法により演算する過程と、前記算出された各フィルタ係数をそれぞれ対応するデジタルフィルタに設定する過程と、を含んで構成される。

【0010】

【作用】第1の発明によれば、共通入力端子に与えられた音声信号は、デジタルフィルタを経由して直線配列された各スピーカユニットに送られる。デジタルフィルタのそれぞれには、前記直線配列スピーカユニット群による音響放射の目標指向性パターンを再現するためのフィルタ係数が設定されている。このフィルタ係数は、目標指向性パターンに適合するよう非直線最適化手法によって演算され、スピーカユニットごとに異なる値に設定される。このように、各デジタルフィルタは直線配列された全てのスピーカユニットに一对一で対応して設けられており、各デジタルフィルタには目標指向性パターンに対応する固有のフィルタ係数が設定されているため、各スピーカユニットはそれぞれ別個に制御される。したがって、このフィルタ係数を目標指向性パターンに合わせて任意に変更することにより、同一スピーカ構造のままで、電氣的に指向性をより細かく制御することが可能となる。

【0011】第2の発明によれば、スピーカユニットは、縦横マトリクス状をなして平面配置されている。その結果スピーカ装置にはスピーカユニットの平面配置によって決まる指向性もたされる。その指向性は直線配列スピーカのように一つの配列方向（例えば、水平方向）のみではなく他の配列方向（すなわち、垂直方向）にも生じる。したがって、フィルタ係数の非直線最適化手法による演算に際し、必要とする水平方向および垂直方向の指向性を加味して演算し、演算された各フィルタ係数は、デジタルフィルタに設定される。このように、同一構造のままで電氣的に水平方向および垂直方向の指向性を任意に制御することができる。

一構造のままで電氣的に水平方向および垂直方向の指向性を任意に制御することができる。

【0012】第3の発明によれば、スピーカユニットは、ハニカム状をなして平面配置されている。そのため、平面配置とデジタルフィルタとの相互作用による水平方向および垂直方向の指向性の制御が可能であることに加えて、次の利点を有する。すなわち、同じ平面配列である縦横マトリクス状のスピーカ装置に比べ各スピーカユニット相互間の間隔を狭めることが可能となる。その結果、第1にスピーカ装置の小型化が可能となり、第2に指向性制御可能な周波数範囲（特に上限周波数）を高くすることが可能であり、かつ、その上限周波数が各スピーカユニットにおいて均一になる。

【0013】第4の発明によれば、複数の直線もしくは平面配列されたスピーカユニットを用いたスピーカ装置の指向性を電氣的な制御により任意の方向へ制御するための有効な制御方法が開示される。

【0014】

【実施例】次に、本発明に係る各実施例を図面に基づいて説明する。

(i) 第1実施例

図1～図23に本発明に係るスピーカ装置の第1の実施例を示す。本実施例は、複数のスピーカユニットが直線状に配列されたスピーカアレイに本発明を適用した例を開示する。

【0015】図1に示すように、スピーカ装置は一つの共通入力信号端子INを有しており、この共通入力信号端子INから複数のスピーカユニット $SP_1 \sim SP_m$ のそれぞれに分岐配線され、各スピーカユニット $SP_1 \sim SP_m$ が並列駆動されるようになっている。共通入力信号端子INから各スピーカユニット $SP_1 \sim SP_m$ に到る各分岐路の信号線には、図示するように、デジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ およびこれと直列なアンプ $A_1 \sim A_m$ が各スピーカユニット $SP_1 \sim SP_m$ に一对一で対応して挿入接続されている。各デジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ には、コントローラ1からの信号線4が接続されている。この信号線を通じてコントローラ1からは各デジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ にそれぞれ固有のフィルタ係数データ $\alpha_{hi}$ が設定される。フィルタ係数データ $\alpha_{hi}$ は、メモリ2に格納されており、入力キーボード3の指示操作によってメモリ2に格納されたフィルタ係数データが順次デジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ に設定される。

【0016】図2に示すように、スピーカユニット $SP_1 \sim SP_m$ は一方方向（例えば、y座標軸方向）に等間隔で直線状に配列されてスピーカアレイを構成している。各スピーカユニット $SP_1 \sim SP_m$ は好ましくは同一物理的特性、例えば当該スピーカユニットの特性を規律する諸元（口径、最底共振周波数、振動板質量等）の等しいものとする。スピーカユニットの再生周波数範囲は、同一構造のままで電氣的に水平方向および垂直方向の指向性を任意に制御することができる。

なわち、ウーファスコカ、ツイータ、あるいはフルレンジタイプとするか否かは、用途に合せて適宜選択してよい。また、図示しないが、各スピーカユニットを個々にエンクロージャに収納するか、一枚の連続パツフル板あるいは壁等に取付けるかは、当該スピーカ装置の用途によって異なるので、適宜、必要な構成とすればよい。なお、図2において、x軸は音の放射方向、y軸は横方向（もしくは水平方向）、およびz軸は高さ方向（もしくは垂直方向）を表わすものとする。

【0017】デジタルフィルタDF<sub>1</sub>～DF<sub>m</sub>は、デジタル信号処理装置（DSP：digital signal processor）により実現され、一般的な直接型FIR（finite impulse response filter）フィルタで構成される。ハードウェア構成は、図示を省略するが、信号処理の中心となる算術演算や論理演算を行う演算ユニット（ALU）※

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} h_i \cdot x(n-i) \quad \dots (1)$$

で与えられる。したがって、FIRフィルタは、フィルタ係数 $h_i$ を変えることにより、そのフィルタ特性を任意に設定変更することができる。フィルタ係数 $h_i$ は、前述のように、コントローラ1から与えられ、DSP内部のレジスタ（フィルタ係数レジスタ）に格納される。

【0020】アンプA<sub>1</sub>～A<sub>m</sub>は、各デジタルフィルタDF<sub>1</sub>～DF<sub>m</sub>の出力信号レベルを各スピーカユニットSP<sub>1</sub>～SP<sub>n</sub>を駆動するに足るレベルに増幅するためのものである。

【0021】以上の構成において、次にスピーカユニットSP<sub>1</sub>～SP<sub>m</sub>からなるスピーカアレイから放射される音の総合指向特性の制御方法について説明する。まず、制御の概要を述べると、次の通りである。スピーカアレイの総合指向特性は、各スピーカユニットSP<sub>1</sub>～SP<sub>m</sub>から放射される個々の音の音圧の集合であり、したがって各スピーカユニットSP<sub>1</sub>～SP<sub>m</sub>の出力音圧をコントロールすることにより、所望の特性とすることができる。そのために、各スピーカユニットSP<sub>1</sub>～SP<sub>m</sub>に接続されたデジタルフィルタDF<sub>1</sub>～DF<sub>m</sub>のフィルタ係数を求める目標指向性パターンに適合する値に設定する。正しいフィルタ係数を求めるためには、実際のスピーカアレイから音を出し、その出力音をマイク※40

$$H_{yn}(\omega) = \sum_{m=1}^M H_{fm}(\omega) \cdot H_{smn}(\omega) \quad \dots (2)$$

ここに、 $H_{fm}(\omega)$ ：m番目のデジタルフィルタの伝達関数

$H_{smn}(\omega)$ ：m番目のデジタルフィルタの出力端からn番目の観測点のマイクロフォンまでの伝達関数

〈3〉一方、実指向性 $H_{yn}(\omega)$ が目標指向性に一致

※U：arithmetic logic unit）と、演算シーケンスを制御するためのシーケンサ（プログラムカウンタ、命令レジスタおよびデコーダを含む）と、必要なプログラムを格納するROM（read only memory）、データの格納を行うRAM（random access memory）およびデータの一時的格納を行うレジスタと、外部とのデータの授受を行うための入出力ポートと、および上記各要素を接続するバスと、を有して構成される。

【0018】直接型FIRフィルタの出力信号 $y$

(n)は、よく知られているように、 $i$ 、 $x(n)$ ：入力信号、 $h_i$ （ $i=0 \sim N-1$ なる正整数）とした場合、次の(1)式

【0019】

【数1】

※ロフォンによって測定し、その測定値に基づいてフィルタ係数を算出する。そこで、スピーカアレイの出力音圧の観測システムを構成し、得られた出力音圧を用いて実指向性を評価しつつ実指向性が目標指向性に一致（近似）するフィルタ係数を求めることが必要がある。そして、目標指向性が数多く存在する場合には、その都度（あるいは予め）当該目標指向性に適合するフィルタ係数を求めておかなければならない。以下、観測システムの構成と計算アルゴリズムについて順次説明する。

【0022】〈1〉 観測システムの構成

図1に示すように、XY平面（水平方向）上に展開する実指向性パターンを観測するために、スピーカユニットSP<sub>1</sub>～SP<sub>m</sub>の前方に半径 $r$  [m]の距離を置いて適当な角度 $\theta$ に分割された複数の観測点 $n=1 \sim N$ を設定する。各観測点 $n$ にはマイクロフォンを配置し、各観測点でのスピーカアレイからの音圧を観測する。各マイクロフォンから出力される音圧信号は、スピーカアレイの実指向性 $H_{yn}(\omega)$ としてとらえることができる。

【0023】〈2〉 実指向性 $H_{yn}(\omega)$ は次の(2)式で表わされる（図3、ステップ105）。

【0024】

【数2】

ないしは近似するか否かを評価するために、評価関数 $f(\omega)$ を設定する。評価関数 $f(\omega)$ は、次式で表わされる。

【0025】

【数3】

$$f(\omega) = \sum_{n=1}^N C_i \{ |H_{yn}(\omega)| - G_i \}^2 \quad \dots (3)$$

ここに、 $C_i$ は重み係数であり、観測時に任意に設定する値である(図3、ステップ101)。この重み係数 $C_i$ は大きな値とするほど近似度が上る。 $G_i$ は観測点 $i$ における目標音圧値[dB]であり、換言すれば目標指向性に相当する。この目標音圧値 $G_i$ は各観測点 $n=1 \sim N$ について目標指向性パターンを構成するよう事前に設定する値である(図3、ステップ100)。

【0026】<4> さて、目標指向性パターンを実現するための最適なフィルタ係数を求めることは、評価関数 $f(\omega)$ を最適化すなわち最小化することに他ならないから、評価関数 $f(\omega)$ を最小化する実指向性 $H_{yn}(\omega)$ を計算により求める(図3、ステップ105、106、107)。計算手法は非直線最適化手法によるが、非直線最適化アルゴリズムとしては、種々ある手法\*

\*のうち、「Broydon-Fletcher-Goldfarb-Shanno 法」や「Davidon-Fletcher Powell 法」が好ましい。

【0027】式(3)において、計算に必要な重み係数 $C_i$ および目標音圧値 $G_i$ は予め与えられるので(図3、ステップ100、101)、評価関数 $f(\omega)$ を計算するには、まず、実指向性 $H_{yn}(\omega)$ を求めなければならない。実指向性 $H_{yn}(\omega)$ は、式(2)に示す通り、デジタルフィルタの伝達関数 $H_{fm}(\omega)$ およびスピーカとその放射空間の伝達関数 $H_{smn}(\omega)$ から求められる。

【0028】<5> デジタルフィルタの伝達関数 $H_{fm}(\omega)$ は次式で表わされる。

【0029】

【数4】

$$\cdot \exp(j\theta_m(\omega)) \quad \dots (4)$$

ここに、 $R_{max}(\omega)$ ： $H_{fm}(\omega)$ の振幅の最大値

$$[R_{max}(\omega) = 2 \times r / m]$$

$r$ ：スピーカから観測点までの距離(図1)

$X_m(\omega)$ ：パラメータ

$\theta_m(\omega)$ ： $X_m(\omega)$ と $H_{fm}(\omega)$ の位相

<6> スピーカおよび放射空間の伝達関数 $H_{smn}$  ※

$$P(r, \theta) = \frac{2J(ka \sin \theta)}{ka \sin \theta} \cdot \frac{\exp(jkr)}{r} \quad \dots (5)$$

ここに、 $J$ ：ベッセル関数

$k$ ：波長定数(音速/角周波数)

$a$ ：スピーカユニットの口径(直径)

上記(5)式で求めた音圧 $P(r, \theta)$ をスピーカおよび放射空間の伝達関数 $H_{smn}(\omega)$ として用いる(図3、ステップ103)。

【0031】<7> (4)式で得られた伝達関数 $H_{fm}(\omega)$ (図3、ステップ104)は周波数伝達関数であ★

$$T = L \cdot \Delta t$$

とする。ここに、 $L$ ：FIRフィルタのタップ長、 $\Delta t$ ：サンプリング時間である。

【0033】<9> このようにして信号処理されたインパルス応答 $h(t)$ を $\Delta t$ の周期でサンプリングし、そのサンプル値(振幅)に適当な定数 $\alpha$ をかけて、係数 $\alpha h_i$ を求める(図3、ステップ110)。ここに、 $i=1 \dots L$ である。この信号処理は、インパルス応答 $h(t)$ がオーバーフローしたり、あるいは小さ過ぎて $S/N$ 比が悪化して誤差の増大を招くことを防止するための処理である。

※( $\omega$ )は、スピーカユニットの口径 $a$ 、配置および観測点が定まれば、無限大剛壁中の円形振動板のピストン運動モデルにより近似値として求めることができる。円形振動板からの音圧 $P(r, \theta)$ は次式で与えられる。

【0030】

【数5】

★るから、これを逆高速フーリエ変換( $FFT^{-1}$ )してインパルス応答 $h(t)$ に変換する(図3、ステップ108)。

【0032】<8> 次に、図4に示すように、<7>で求められたインパルス応答 $h(t)$ にハニング窓等の必要な窓 $W(t)$ をかける(図3、ステップ109)。このとき、窓 $W(t)$ の時間長 $T$ は

$$\dots (6)$$

タ係数として各デジタルフィルタに設定する(図3、ステップ111、112)。以上の手順を各観測点 $n=1 \sim N$ ごとにくり返し、得られたフィルタ係数 $\alpha h_i$ を各デジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ に設定する。

【0035】<11> このようにしてフィルタ係数 $\alpha h_i$ が設定されたデジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ を介し、コントローラ1からの信号を各スピーカユニット $SP_1 \sim SP_m$ に与えることで、スピーカアレイから必要な指向性パターンを得ることができる。

【0036】上記一連の手順により求められたフィルタ係数 $\alpha h_i$ は、各デジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ に設

定した場合の各デジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ の周波数応答特性の例を図5～図12に示す。なお、スピーカアレイのスピーカユニットの個数は9個であり、それらの各スピーカユニットに対応するデジタルフィルタの順番を $m=1 \sim 9$ で示してある。各図において、AはFIRフィルタの振幅特性、BはFIRフィルタの位相特性を示しており、これに併記して参照のためアナログフィルタの振幅特性aおよびアナログフィルタの位相特性bを示してある。

【0037】次に、図4～図12に示す特性を有するデジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ を用いて、共通入力信号端子INに与えられた音声信号の2次元(XY平面)指向性パターンを周波数別に表わした図を図13～図17に示す。各図において、 $\cdots x \cdots x \cdots$ が目標パターン、 $\cdots o \cdots o \cdots$ が実パターンを示している。これらの図からわかるように、わずかながらサイドローブが出現しているものの、希望する指向性に対応する指向性が低周波数帯域(20Hz)から中周波数帯域(1400Hz)に亘って得られた。

【0038】さらに、理解を助けるために、同じ9個の直線配列スピーカアレイの指向性パターンを同じ周波数パラメータにおいて3次元で観察した場合の特性図を図20～図23に示す。各図からわかるように、XY平面上、約45°方向に指向性をもち、Z軸方向は半球形の均一な分布を示している。

#### 【0039】(ii) 第2実施例

図24～図30に、本発明に係るスピーカ装置の第2の実施例を示す。本実施例は、複数のスピーカユニットが縦横マトリクス状(あるいは、格子状位置)に配列されてなるスピーカアレイに本発明を適用した例を開示する。

【0040】図24に示すように、スピーカ装置は一つの共通入力信号端子INを有しており、この共通入力信号端子INから複数のスピーカユニット $SP_1 \sim SP_m$ のそれぞれに分岐配線され、各スピーカユニット $SP_1 \sim SP_m$ が並列駆動されるようになっている。共通入力信号端子INから各スピーカユニット $SP_1 \sim SP_m$ に到る各分岐路の信号線には、図24に示すように、縦方向(Z方向)の各スピーカユニットに対応してデジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ が介在されており、かつ、このデジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ の出力端からさらに分岐されて各スピーカユニット $SP_1 \sim SP_m$ に到る信号線路にはアンプ $A_1 \sim A_m$ がそれぞれ介挿されている。図示しないが、各デジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ には、第1実施例(図1)と同様に、信号線を介してコントローラ1が接続され、メモリ2に格納されたフィルタ係数データ $\alpha_{hi}$ が入力キーボード3の操作によりコントローラ1を通じて設定される。

【0041】スピーカユニット $SP_1 \sim SP_m$ は、2次

トリクス状に平面配置されてスピーカアレイを構成している。第1実施例と同様に、各スピーカユニット $SP_1 \sim SP_m$ は、好ましくは、同一物理的特性を有することとし、取付躯体であるエンクロージャへの収納あるいは壁面取付け等の固定構造は用途に応じて適宜必要な態様とすることができる。また、再生周波数範囲も必要に応じて任意に選択する。なお、図24に示す座標軸において、x軸は音の放射方向、y軸は横方向(水平方向)、およびz軸は縦方向(垂直方向)を示している。

【0042】デジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ は、第1実施例と同様にDSPを用いた直接型FIRフィルタを用いる。アンプ $A_1 \sim A_m$ も同様であり、適当な増幅率を有する電力増幅を用いる。

【0043】指向性制御の方法も、第1実施例と同様であり、先に示した<I>～<II>の手順で、図3のフローに従ってフィルタ係数 $\alpha_{hi}$ を算出し、各デジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ に設定する。

【0044】また、上記手順によって算出されたフィルタ係数 $\alpha_{hi}$ を設定した場合の各デジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ の周波数応答は、第1実施例における図4～図12の例を援用する。

【0045】次に、スピーカユニットを縦9個、横9個の合計81個使用したスピーカアレイによる指向性制御の結果例を図25～図30に示す。これらの例は、目標指向性をXY平面上約75°、yz平面上約60°、正面からみて(スピーカアレイに向かって)おおむね右上の位置にもたせた例である。図からわかるように、サイドローブの分布も含まれるものの、低周波数帯域(100Hz付近)から中周波数帯域(1400Hz)にわたって良好な指向性を示している。

#### 【0046】(iii) 第3実施例

図31～35に、本発明に係るスピーカ装置の第3の実施例を示す。本実施例の特徴は、ハニカム状のスピーカアレイを用いる点にある。

【0047】すなわち、図31に示すように、複数のスピーカユニットが千鳥状位置に互違いに配置され、図32に示すように、全体として各スピーカユニットが多重六角形の各対辺上に整列する形となる。

【0048】このように、ハニカム状配置のスピーカアレイとした場合、隣接するスピーカユニット相互の間隔は、図33に示す格子状配置のスピーカアレイに比べて $\sqrt{3}/2=0.866$ 倍の大きさとなる。スピーカユニット相互間の間隔が狭まるということは、その分だけスピーカアレイが点音源に近づくことを意味し、特性面では指向性制御可能な周波数の上限が上昇し、形状、寸法面では小型化ないしはスピーカユニット数の削減につながることで格子状配置のスピーカアレイに比べて有利となる。

【0049】図33は、合計61個のスピーカユニット

差評価関数値の周波数特性例を示した図であるが、同図からわかるように、指向性制御可能な上限周波数は $0^\circ$ 軸上および $30^\circ$ 軸上共に高く約 $1800\text{Hz}$ までのびている。

【0050】これに対し、格子状配置のスピーカアレイの場合は、合計81個のスピーカユニットを用い、その特性は図35に示すように、指向性制御可能な上限周波数は $0^\circ$ 軸上では $1800\text{Hz}$ となっているものの $45^\circ$ 軸上では $1500\text{Hz}$ に低下してしまう。

【0051】このように、格子状配置のスピーカアレイでは指向性制御可能な上限周波数にバラツキが生じ、かつ、スピーカユニット数に無駄がでるが、ハニカム状配置では上限周波数が共に高く、かつ、スピーカユニット数が少なくてよい。

【0052】なお、デジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ として直接型FIRフィルタを用い、指向性の制御方法として<1>～<11>のアルゴリズムに従って、必要なフィルタ係数 $\alpha_{hi}$ を算出して各デジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ に設定することは、第1、第2の各実施例と同様であり、それらの図示ならびに説明を援用する。

【0053】

【発明の効果】以上の通り、第1の発明によれば、直線配列された各スピーカユニットに接続されたデジタルフィルタに所望の指向性パターンを実現するためのフィルタ係数が設定されるため、きめの細かい指向性制御を同一スピーカ構造のまま電気的に行うことができ、かつ、フィルタ係数の変更により任意の指向性パターンを得ることが可能となる。

【0054】第2の発明によれば、縦横マトリクス状の平面スピーカアレイを用い、水平方向のみならず垂直方向の指向性パターンをスピーカ装置の構造配置を変えることなく、電気的に制御することができる。

【0055】第3の発明によれば、ハニカム状の平面スピーカアレイを用い、水平方向のみならず、垂直方向の指向性パターンを電気的に制御することが可能であり、加えて縦横マトリクス状（格子状）のスピーカアレイの場合に比べて指向性制御可能な上限周波数の値を高くすることが可能となり、かつ、使用ユニット数を削減することが可能となる。

【0056】第4の発明によれば、複数のスピーカユニットを直線配列するか平面配列するかに拘らず、任意の方向への指向性の制御が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るスピーカ装置の実施例を示すブロック図である。

【図2】本発明の第1実施例に係る直線配列型スピーカ装置の外観を示す斜視図である。

【図3】本発明に係る指向性制御アルゴリズムを示すフローチャートである。

【図5】本発明に係るFIRフィルタ( $m=1$ )およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図6】本発明に係るFIRフィルタ( $m=2$ )およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図7】本発明に係るFIRフィルタ( $m=3$ )およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図8】本発明に係るFIRフィルタ( $m=4$ )およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図9】本発明に係るFIRフィルタ( $m=5$ )およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図10】本発明に係るFIRフィルタ( $m=6$ )およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図11】本発明に係るFIRフィルタ( $m=7$ )およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図12】本発明に係るFIRフィルタ( $m=8$ )およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図13】本発明に係るFIRフィルタ( $m=9$ )およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図14】第1実施例のスピーカ装置の $20[\text{Hz}]$ における2次元指向性パターンを示す特性図である。

【図15】第1実施例のスピーカ装置の $100[\text{Hz}]$ における2次元指向性パターンを示す特性図である。

【図16】第1実施例のスピーカ装置の $400[\text{Hz}]$ における2次元指向性パターンを示す特性図である。

【図17】第1実施例のスピーカ装置の $1200[\text{Hz}]$ における2次元指向性パターンを示す特性図である。

【図18】第1実施例のスピーカ装置の $1400[\text{Hz}]$ における2次元指向性パターンを示す特性図である。

【図19】第1実施例のスピーカ装置の目標3次元指向性パターンを示す特性図である。

【図20】第1実施例のスピーカ装置の $20[\text{Hz}]$ における3次元指向性パターンを示す特性図である。

【図21】第1実施例のスピーカ装置の $100[\text{Hz}]$ における3次元指向性パターンを示す特性図である。

【図22】第1実施例のスピーカ装置の $400[\text{Hz}]$ における3次元指向性パターンを示す特性図である。

【図23】第1実施例のスピーカ装置の $1200[\text{Hz}]$ における3次元指向性パターンを示す特性図である。

【図24】第1実施例のスピーカ装置の $1400[\text{Hz}]$ における3次元指向性パターンを示す特性図である。

【図25】本発明の第2実施例に係る2次元配列型スピーカ装置の外観を示す斜視図である。

【図26】第2実施例のスピーカ装置の目標3次元指向性パターンを示す特性図である。

【図27】第2実施例のスピーカ装置の $20[\text{Hz}]$ に



【図28】第2実施例のスピーカ装置の100 [Hz] における3次元指向性パターンを示す特性図である。

【図29】第2実施例のスピーカ装置の400 [Hz] における3次元指向性パターンを示す特性図である。

【図30】第2実施例のスピーカ装置の1200 [Hz] における3次元指向性パターンを示す特性図である。

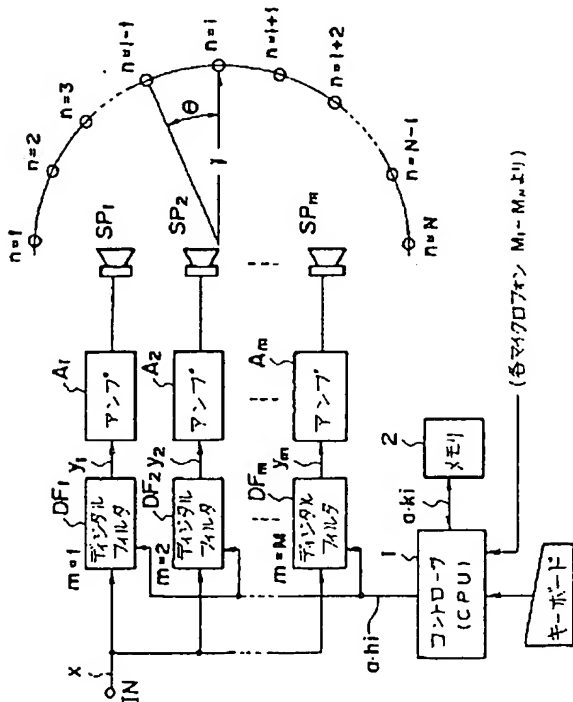
【図31】第2実施例のスピーカ装置の1400 [Hz] における3次元指向性パターンを示す特性図である。

【図32】本発明の第3実施例に係るスピーカ装置の一部を示す正面図である。

【図33】ハニカム状スピーカアレイの配置例を示す説明図である。

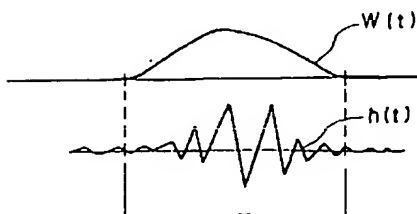
【図1】

本発明に係るスピーカ装置の実施例を示すブロック図



【図4】

ハミング窓の説明図



【図34】ハニカム状スピーカアレイの誤差評価関数の周波数特性図である。

【図35】格子状スピーカアレイの配置例を示す説明図である。

【図36】格子状スピーカアレイの誤差評価関数の周波数特性図である。

【符号の説明】

$A_1 \sim A_m$  …アンプ

$DF_1 \sim DF_m$  …デジタルフィルタ

10 IN…共通入力信号端子

SP、 $SP_1 \sim SP_m$  …スピーカユニット

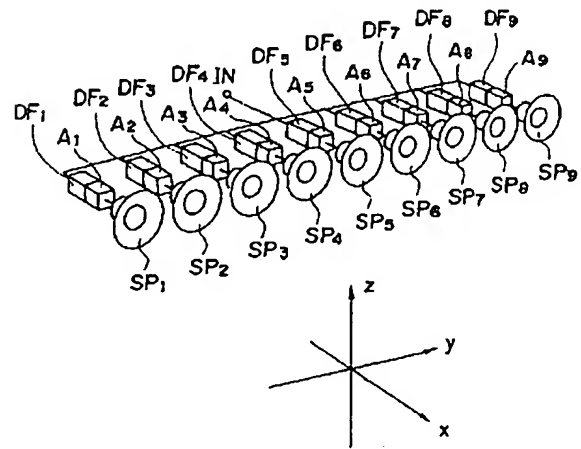
1…コントローラ

2…メモリ

3…入力キーボード

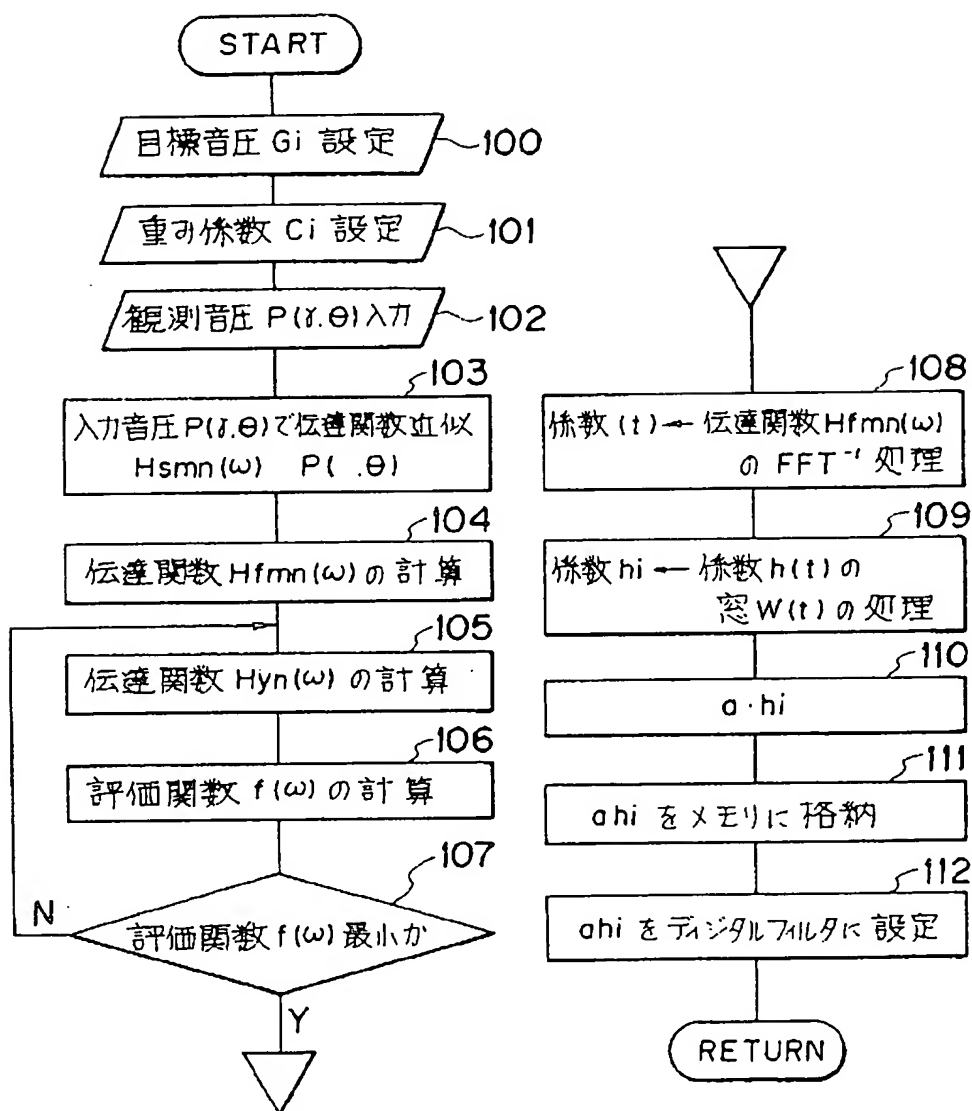
【図2】

本発明の第一実施例に係る直線配列型スピーカ装置の外観を示す斜視図



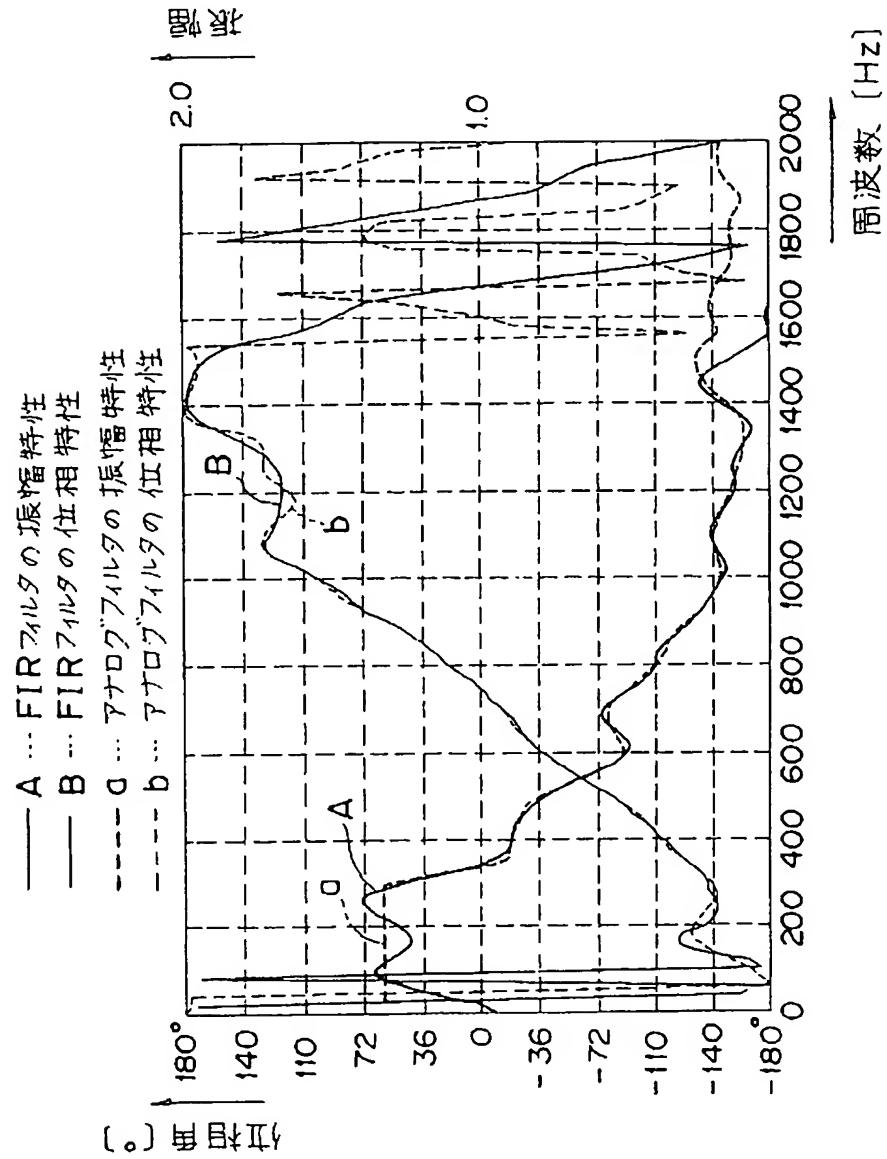
【図3】

本発明に係る指向性制御アルゴリズムを示すフローチャート



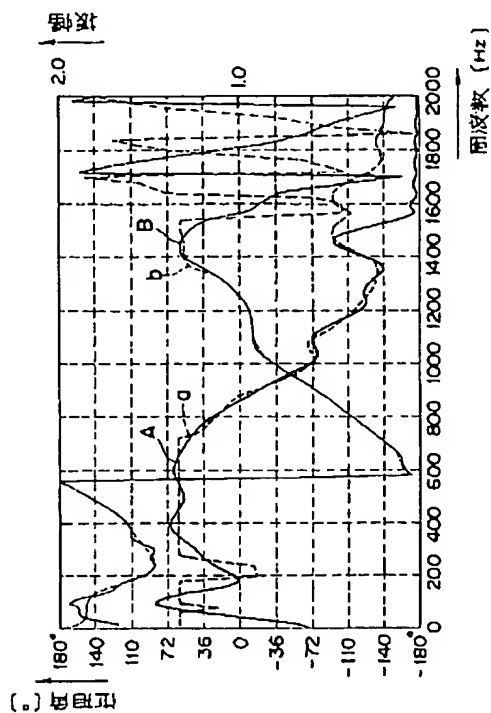
【図5】

本発明に係る FIR フィルタ ( $m=1$ ) および アナログフィルタの  
周波数応答を示す特性図



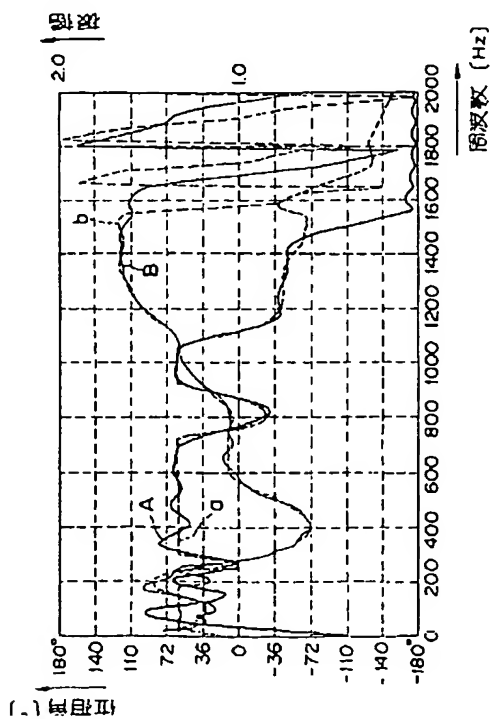
【図6】

本発明に係る FIR フィルタ ( $m=2$ ) および アナログフィルタの  
周波数応答を示す特性図



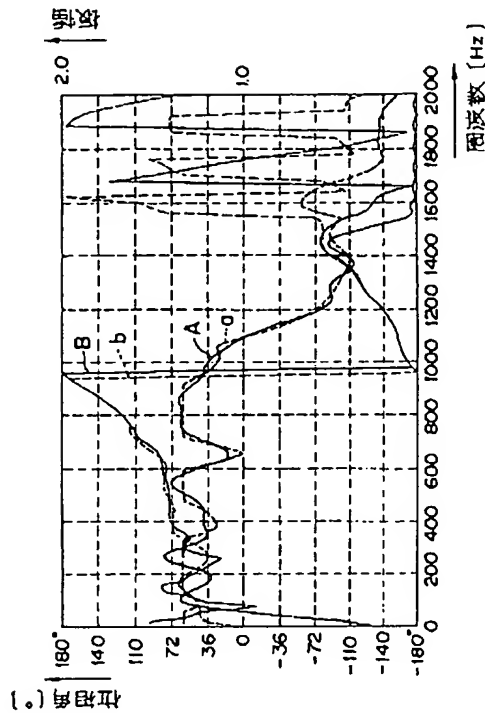
【図8】

本発明に係る FIR フィルタ ( $m=4$ ) および アナログフィルタの  
周波数応答を示す特性図



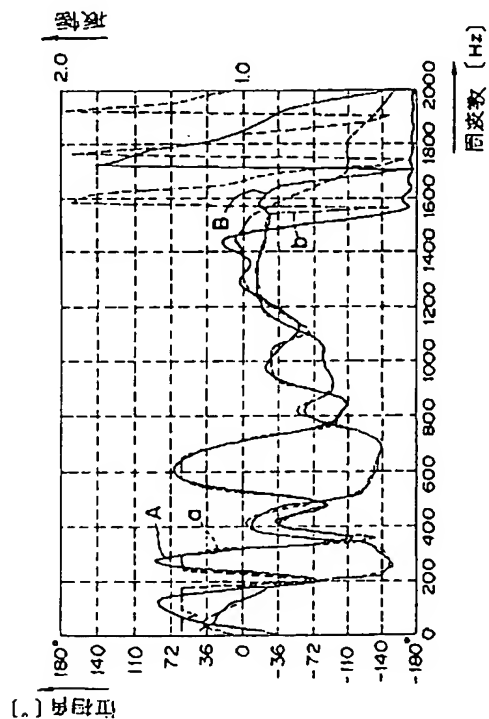
【図7】

本発明に係る FIR フィルタ ( $m=3$ ) および アナログフィルタの  
周波数応答を示す特性図



【図9】

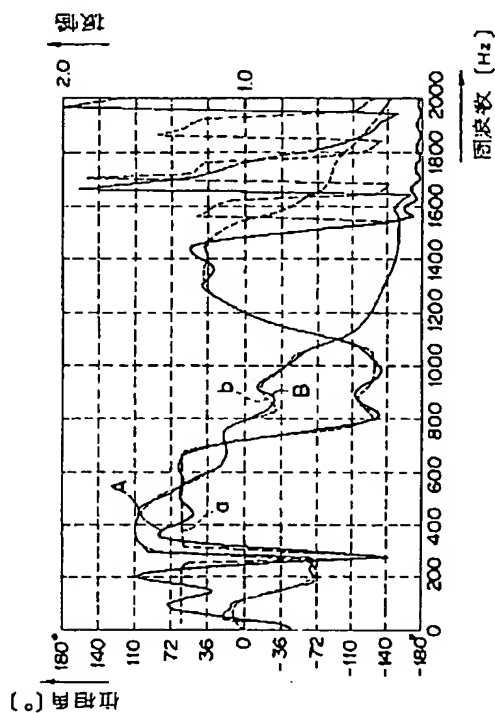
本発明に係る FIR フィルタ ( $m=5$ ) および アナログフィルタの  
周波数応答を示す特性図



(12)

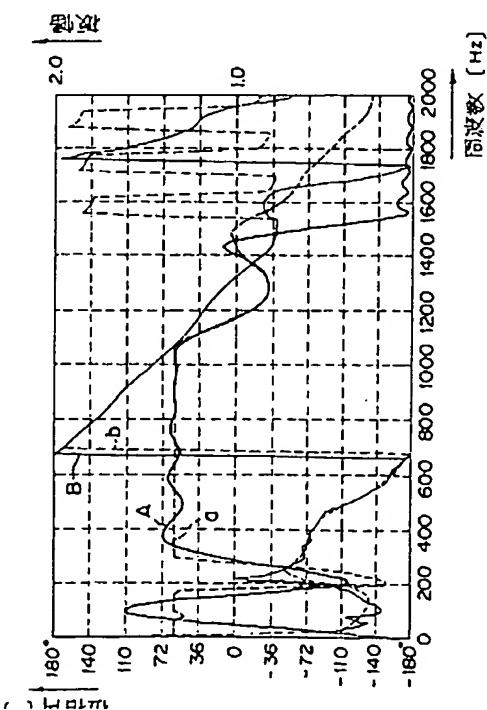
【図10】

本発明に係る FIR フィルタ ( $m=6$ ) およびアナログフィルタの  
周波数応答を示す特性図



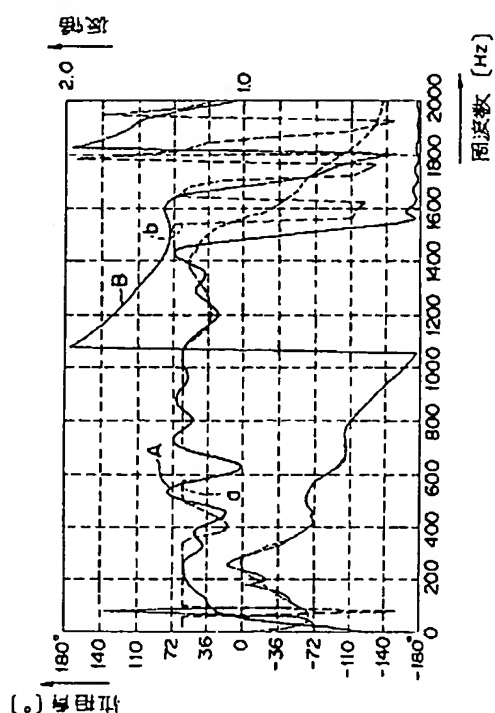
【図12】

本発明に係る FIR フィルタ ( $m=8$ ) およびアナログフィルタの  
周波数応答を示す特性図



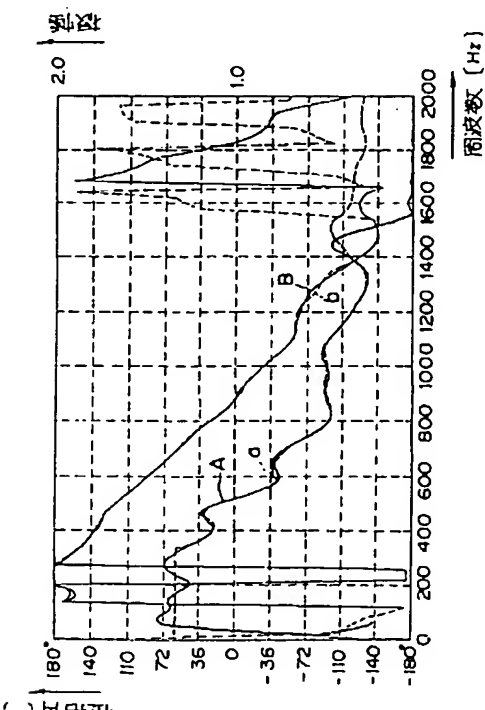
【図11】

本発明に係る FIR フィルタ ( $m=7$ ) およびアナログフィルタの  
周波数応答を示す特性図



【図13】

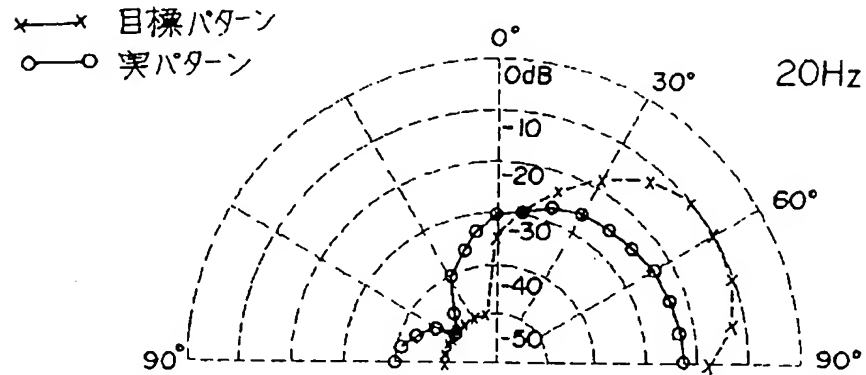
本発明に係る FIR フィルタ ( $m=9$ ) およびアナログフィルタの  
周波数応答を示す特性図



(13)

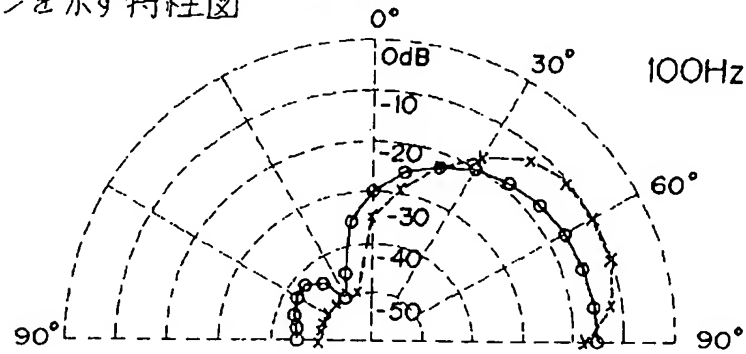
【図14】

第1実施例のスピーカ装置の20(Hz)における2次元指向性パターンを示す特性図



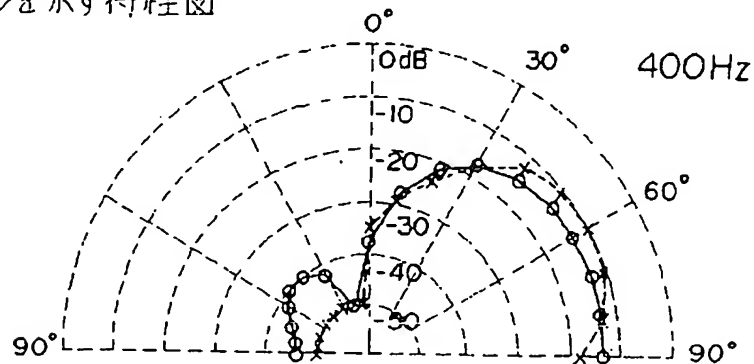
【図15】

第1実施例のスピーカ装置の100(Hz)における2次元指向性パターンを示す特性図



【図16】

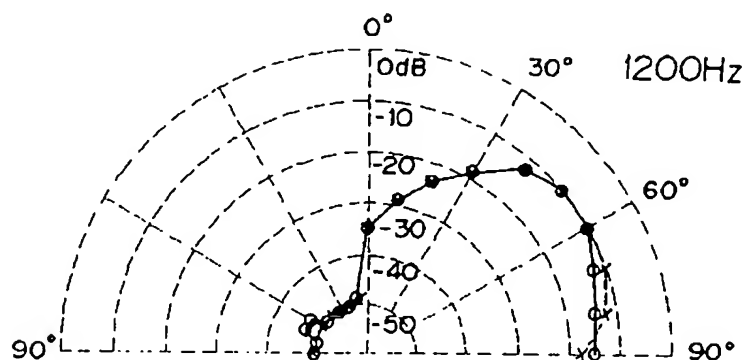
第1実施例のスピーカ装置の400(Hz)における2次元指向性パターンを示す特性図



(14)

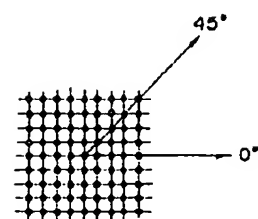
【図17】

第1実施例のスピーカ装置の200(Hz)における2次元指向性パターンを示す特性図



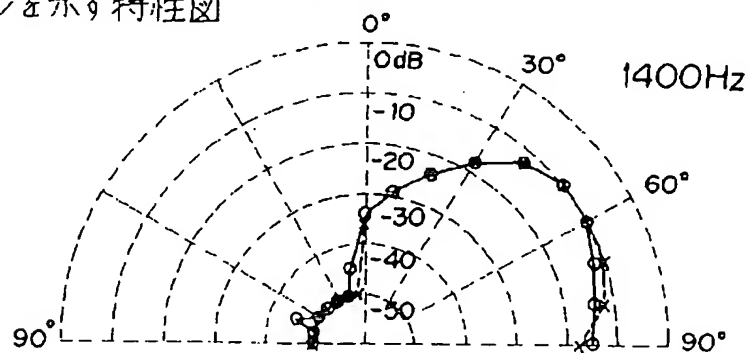
【図35】

格子状アレイ



【図18】

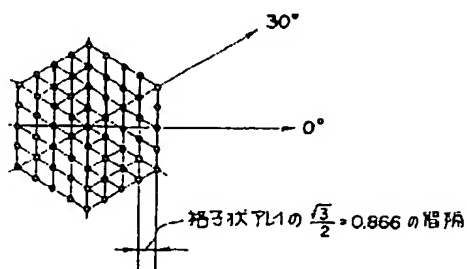
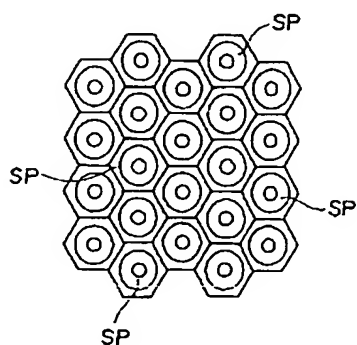
第1実施例のスピーカ装置の400(Hz)における2次元指向性パターンを示す特性図



【図32】

【図33】

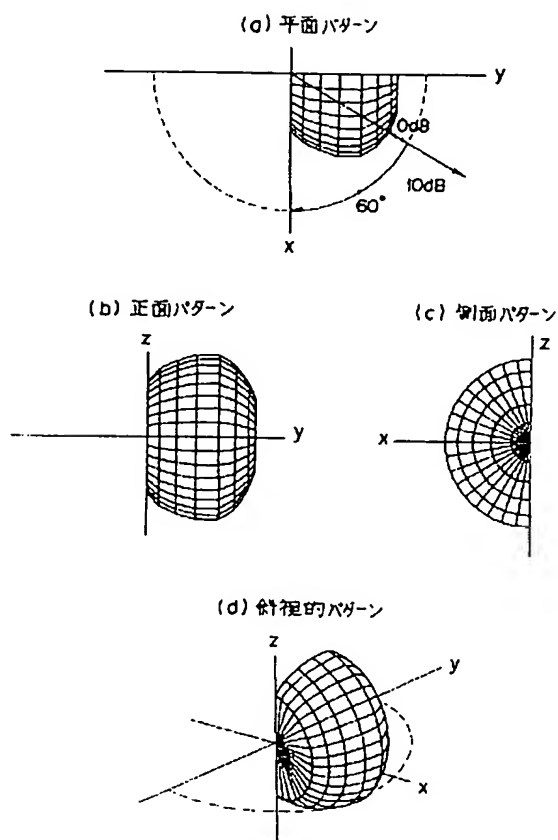
本発明の第3実施例に係るスピーカ装置の一部を示す正面図



(15)

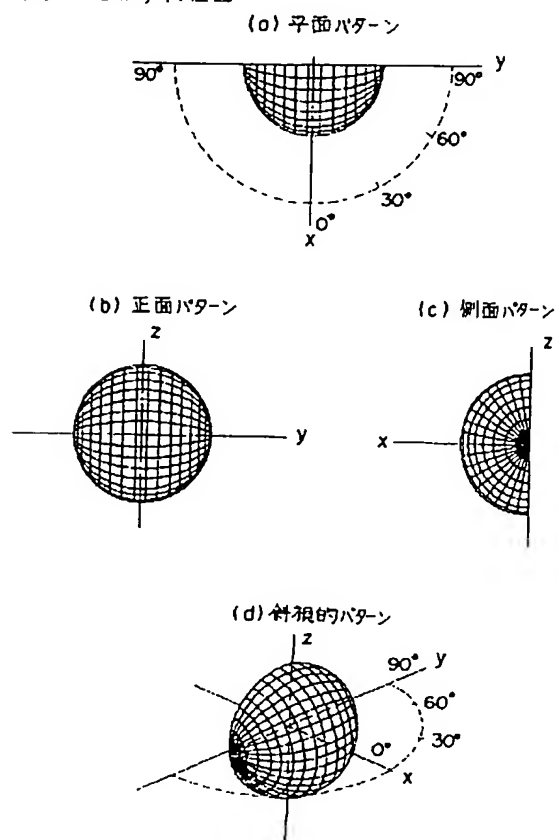
【図19】

第1実施例のスピーカ配置の目標3次元指向性パターンと示す特性図



【図20】

第1実施例のスピーカ配置の20(Hz)における3次元指向性パターンと示す特性図

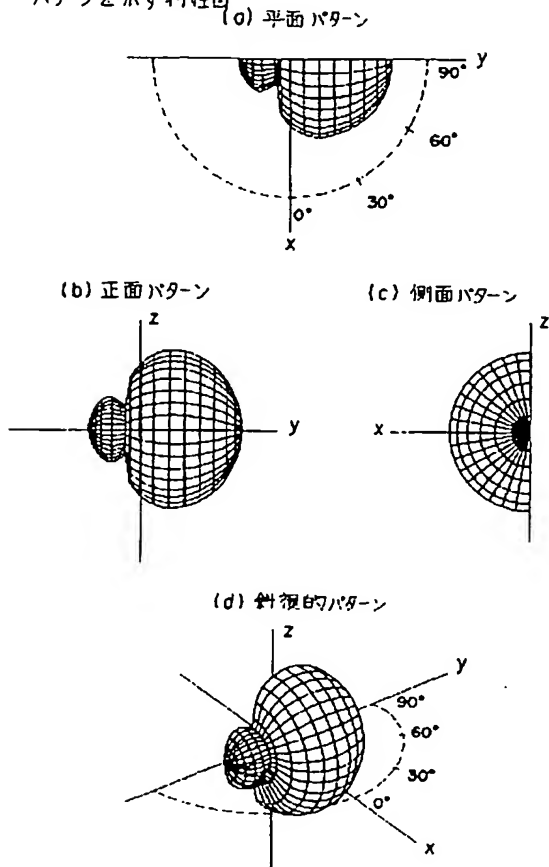




(16)

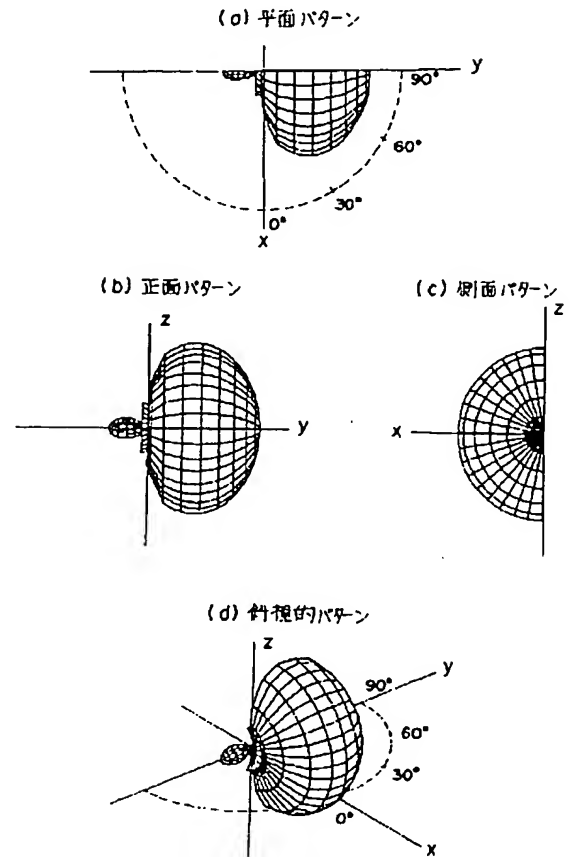
【図21】

第1実施例のスピーカ装置の100(Hz)における3次元指向性パターンを示す特性図



【図22】

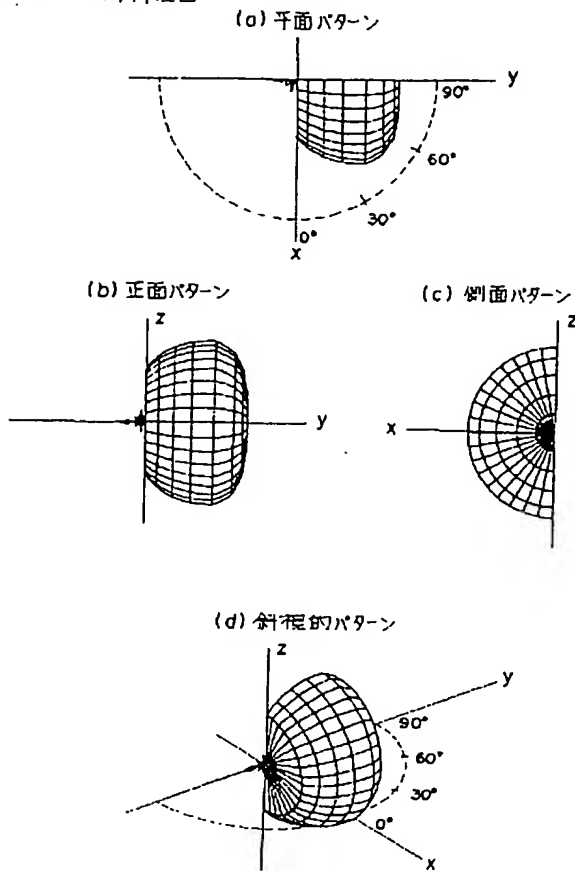
第1実施例のスピーカ装置の400(Hz)における3次元指向性パターンを示す特性図



(17)

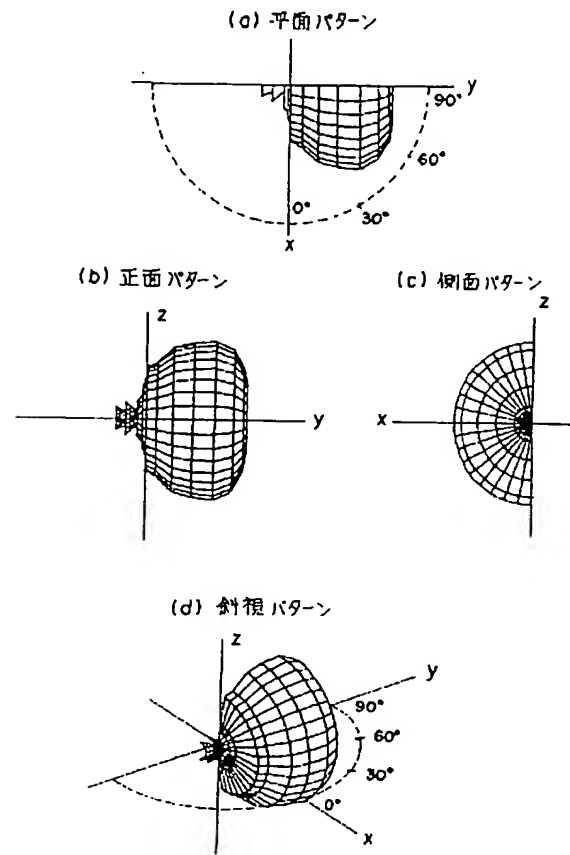
【図23】

第1実施例のスピーカ装置の1200(Hz)における3次元指向性パターンを示す特性図



【図24】

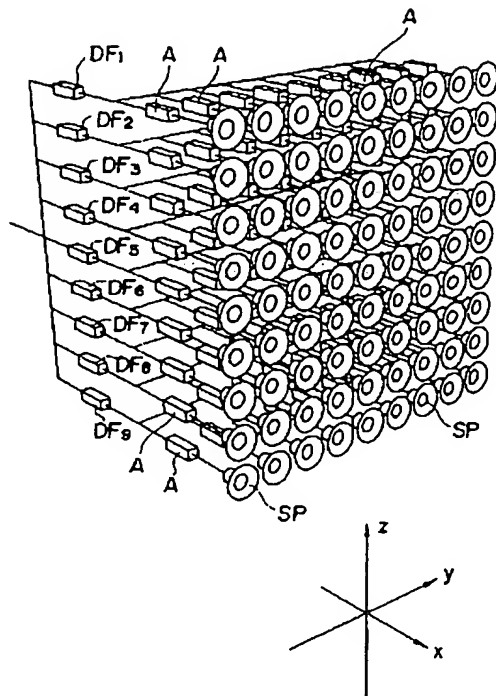
第1実施例のスピーカ装置の400(Hz)における3次元指向性パターンを示す特性図



(18)

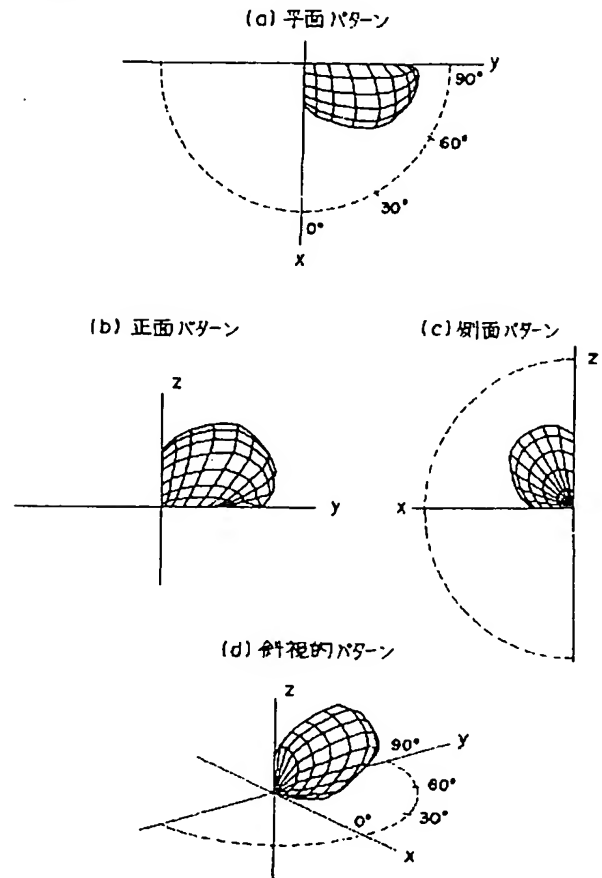
【図25】

本発明の第2実施例に係る2次元配列型スピーカ装置の  
外觀を示す斜視図



【図26】

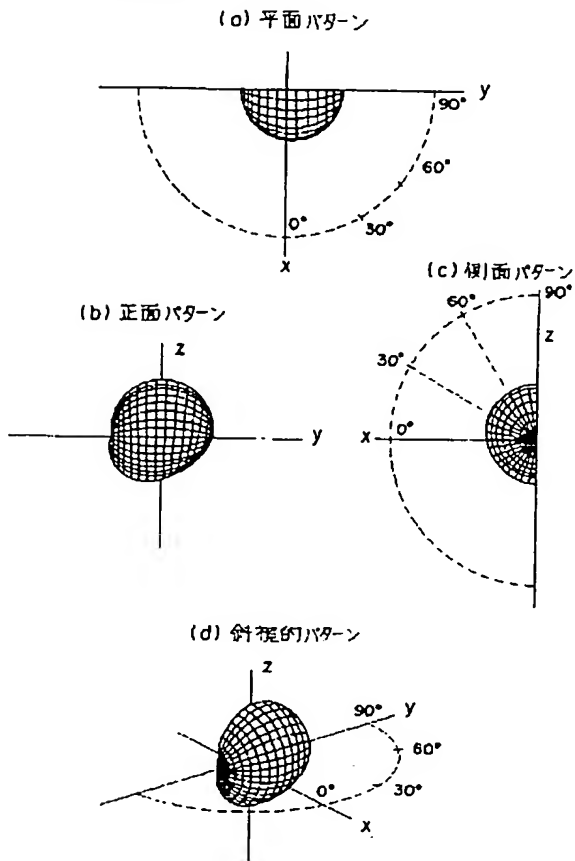
第2実施例のスピーカ装置の目標3次元指向性パターンを示す  
特性図



(19)

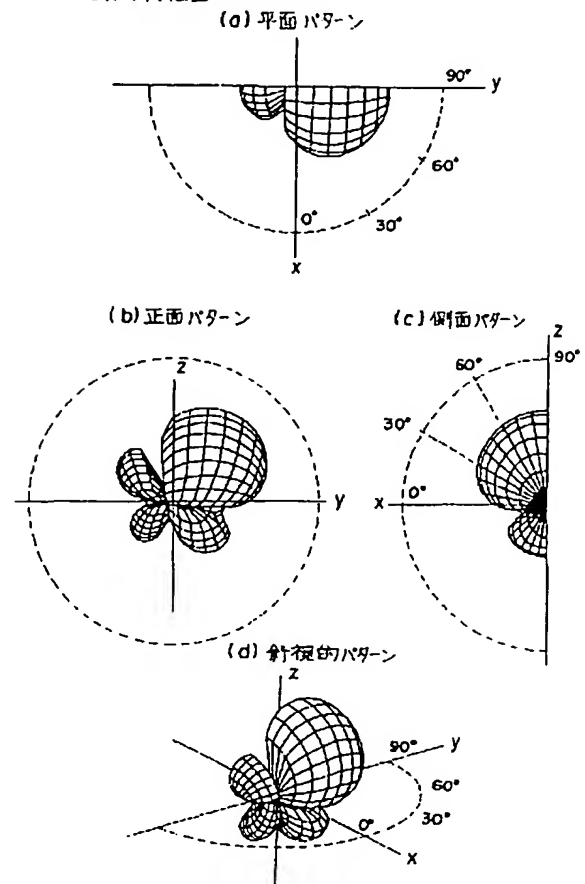
【図27】

第2実施例のスピーカ配置の20(Hz)における3次元指向性パターンを示す特性図



【図28】

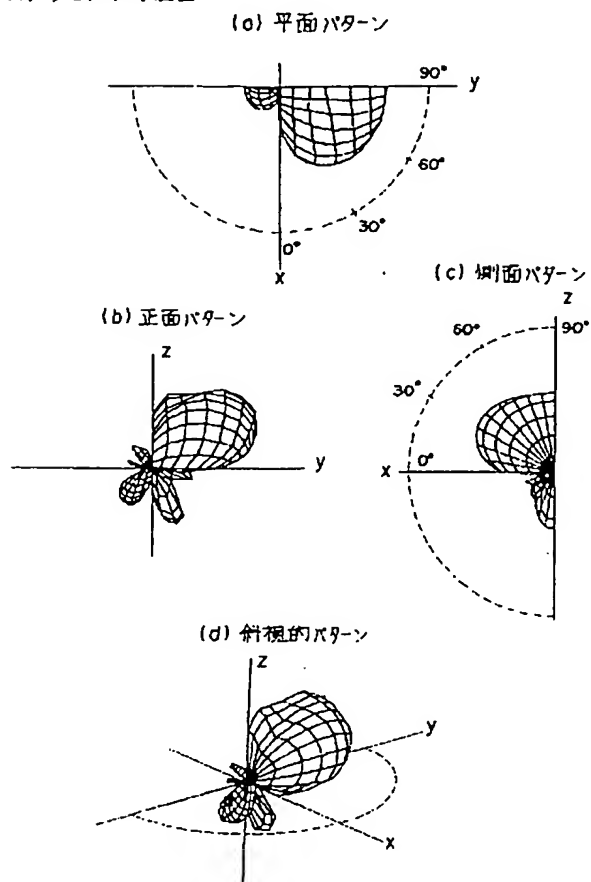
第2実施例のスピーカ配置の100(Hz)における3次元指向性パターンを示す特性図



(20)

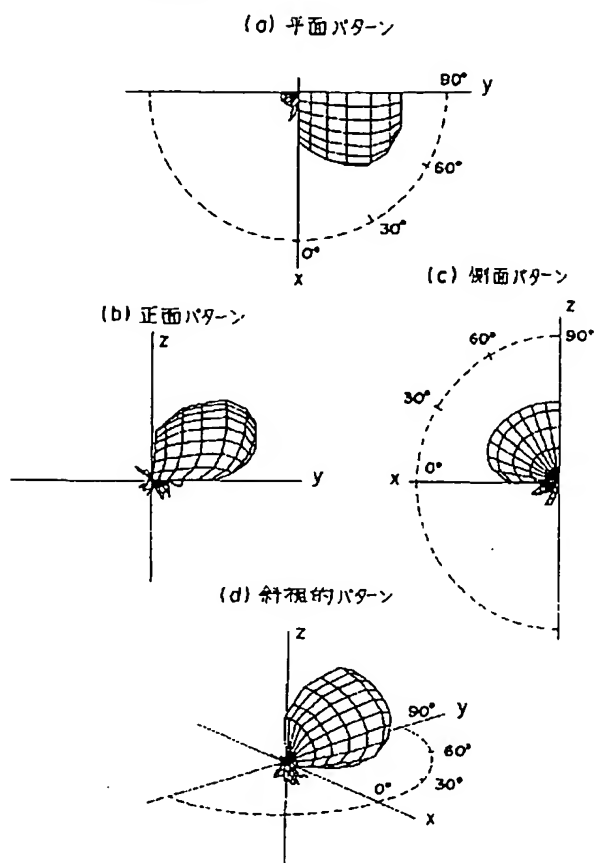
【図29】

第2実施例のスピーカ配置の400(Hz)における3次元指向性パターンを示す特性図



【図30】

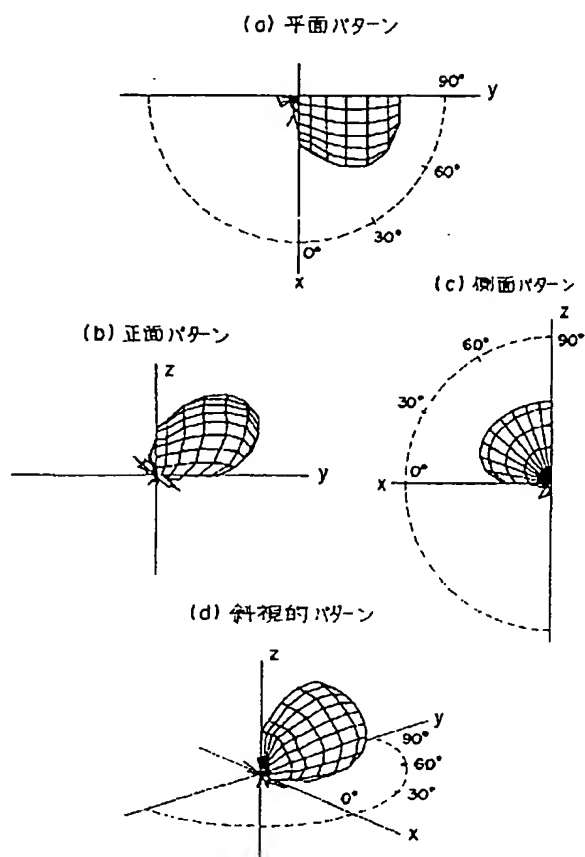
第2実施例のスピーカ配置の1200(Hz)における3次元指向性パターンを示す特性図



(21)

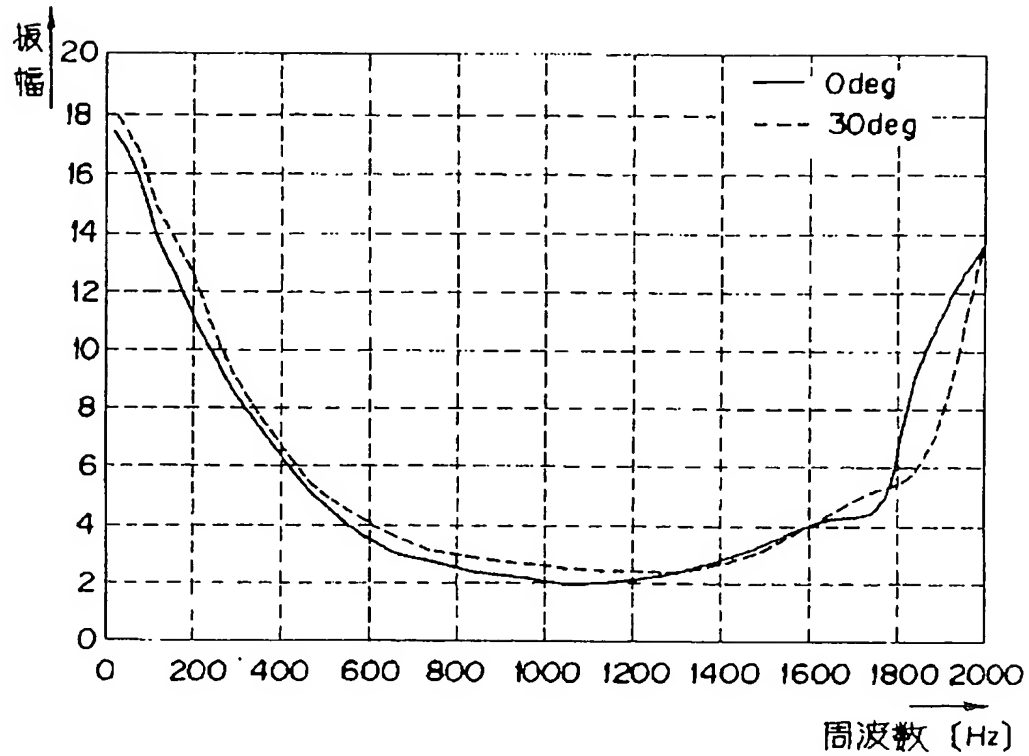
【図31】

第2実施例のスピーカ装置の1400(Hz)における3次元指向性パターンを示す特性図



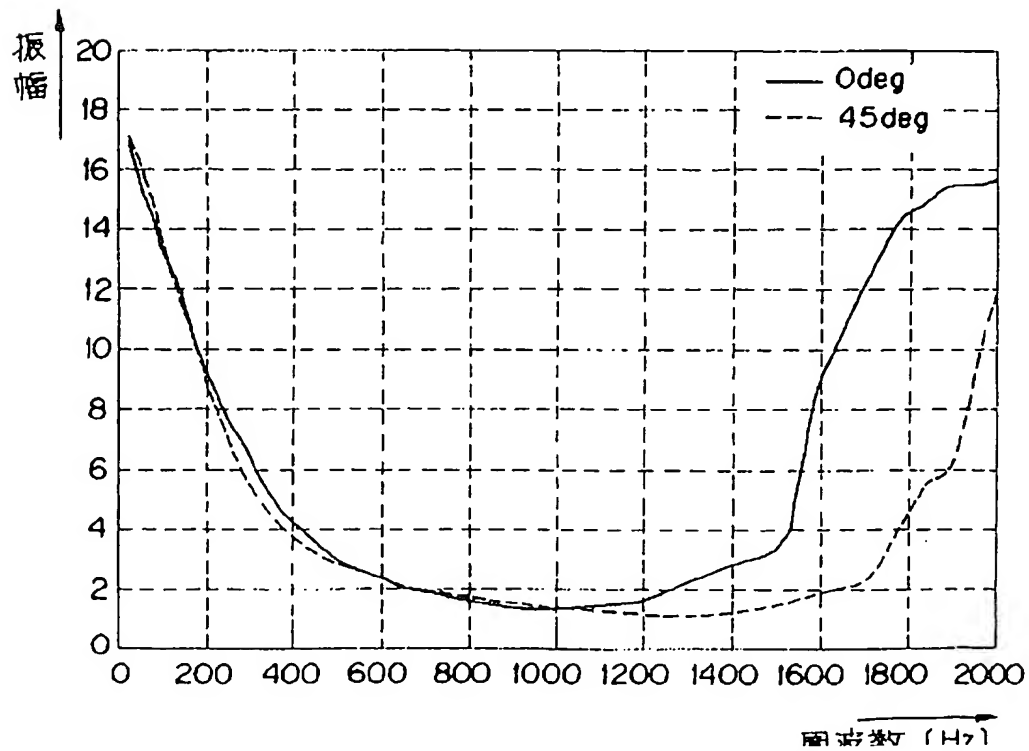
【図3 4】

誤差評価関数値の周波数特性



【図3 6】

誤差評価関数値の周波数特性



(23)

【手続補正書】

【提出日】平成4年5月26日

【手続補正1】

【補正対象書類名】図面

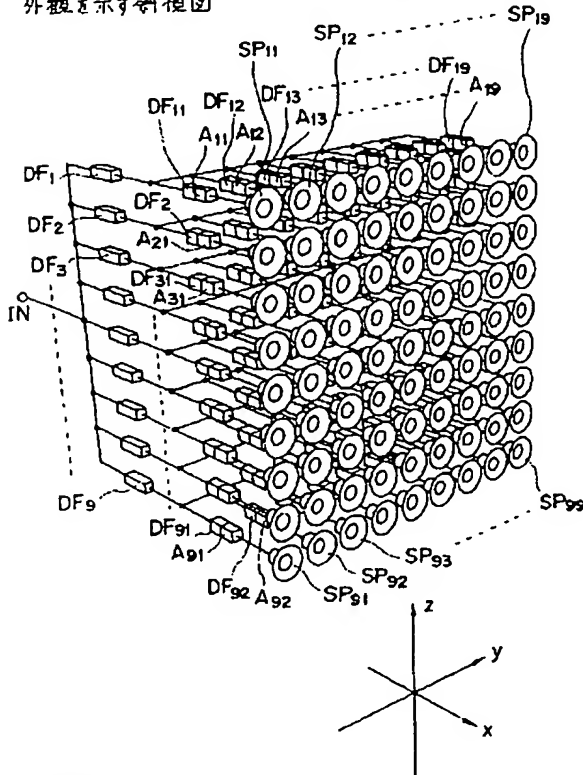
【補正対象項目名】図25

【補正方法】変更

【補正内容】

【図25】

本発明の第2実施例に係る2次元配列型スピーカ装置の  
外観を示す斜視図



【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】スピーカ装置およびその指向性制御方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 音響放射すべき音声信号が供給される共通入力端子と、  
直線状に配列された複数のスピーカユニットと、  
前記共通入力端子と前記各スピーカユニットとの間に挿入接続され、前記複数のスピーカユニットによる音響放射の目標指向性パターンに応じて非直線最適化手法により算出されたフィルタ係数が、接続される各スピーカユニットに対応して設定される複数のデジタルフィルタと、  
を備えたことを特徴とするスピーカ装置。

通入力端子と、

縦横マトリクス状に平面配置された複数のスピーカユニットと、

前記共通入力端子と前記各スピーカユニットとの間に挿入接続され、前記複数のスピーカユニットによる音響放射の目標指向性パターンに応じて非直線最適化手法により算出されたフィルタ係数が、接続される各スピーカユニットに対応して設定される複数のデジタルフィルタと、

を備えたことを特徴とするスピーカ装置。

【請求項3】 音響放射すべき音声信号が供給される共通入力端子と、

ハニカム状に平面配置された複数のスピーカユニットと、

前記共通入力端子と前記各スピーカユニットとの間に挿入接続され、前記複数のスピーカユニットによる音響放射の目標指向性パターンに応じて非直線最適化手法により算出されたフィルタ係数が、接続される各スピーカユニットに対応して設定される複数のデジタルフィルタと、

を備えたことを特徴とするスピーカ装置。

【請求項4】 共通信号入力端子と直線配列もしくは平面配列された複数のスピーカユニットとの間のそれぞれに、前記各スピーカユニットに対応して、デジタルフィルタが挿入接続されてなるスピーカ装置の指向性制御方法であって、

前記複数のスピーカユニットからの音響放射の目標指向性パターンに応じた前記各デジタルフィルタのフィルタ係数を非直線最適化手法により演算する過程と、

前記算出された各フィルタ係数をそれぞれ対応するデジタルフィルタに設定する過程と、

を含むことを特徴とするスピーカ装置の指向性制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明はスピーカ装置およびその指向性制御方法に係り、特に直線配列もしくは平面配列型のスピーカ装置の指向性制御技術に関する。

【0002】

【従来の技術】スピーカの性能を評価するための特性の一つに指向性がある。指向性とは、方向によって音圧の大きさが相違する性質である。この指向性は、一概に広い程良いといったものではなく、そのスピーカの用途、換言すれば、そのスピーカのサービス範囲によって求められるパターンが異なる。例えば、オーディオ用の場合には広い指向性を求められる場合が多いし、拡声用の場合にはハウリング防止等のために特定の方向にのみ放射するよう狭指向性とすることが求められる。



は、単一のスピーカユニットの場合、コーン形であるかホーン形であるか等のスピーカユニット自体の構造や、コーン形スピーカの場合の振動板のコーンの深さ等がある。また、複数のスピーカユニットを用いた直線配列型（いわゆるトーンゾイレ形）のスピーカにより特定の方向にのみ放射するものもある。いずれにしても、スピーカの指向性は当該スピーカユニット自体の物理的構造もしくは配置により決定される。しかし、要求される指向性に合せたスピーカを作製するには手間がかかり、外形寸法等においても制約を受ける場合が多い。そのため、デジタルフィルタを用いて指向性パターンを電氣的に制御するようにしたスピーカシステムが開発されている（特開平 2-239798 号公報参照）。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記スピーカシステムは、低域から高域までの広帯域にわたる均一な指向性を得ることを目的として構成されており、また、その文献では希望する特定方向への指向性を得るための具体的な制御方法が開示されていない。

【0005】したがって、本発明の目的は、2次元方向の指向性のみならず3次元方向の指向性をも電氣的信号処理により任意に可変制御しうるスピーカ装置および指向性制御方法を提供することにある。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】本願第1の発明は、音響放射すべき音声信号が供給される共通入力端子と、直線状に配列された複数のスピーカユニットと、前記共通入力端子と前記各スピーカユニットとの間に挿入接続され、前記複数のスピーカユニットによる音響放射の目標指向性パターンに応じて非直線最適化手法により算出されたフィルタ係数が、接続される各スピーカユニットに対応して設定される複数のデジタルフィルタと、を備えて構成される。

【0007】本願第2の発明は、音響放射すべき音声信号が供給される共通入力端子と、縦横マトリクス状に平面配置された複数のスピーカユニットと、前記共通入力端子と前記各スピーカユニットとの間に挿入接続され、前記複数のスピーカユニットによる音響放射の目標指向性パターンに応じて非直線最適化手法により算出されたフィルタ係数が、接続される各スピーカユニットに対応して設定される複数のデジタルフィルタと、を備えて構成される。

【0008】本願第3の発明は、音響放射すべき音声信号が供給される共通入力端子と、ハニカム状に平面配置された複数のスピーカユニットと、前記共通入力端子と前記各スピーカユニットとの間に挿入接続され、前記複数のスピーカユニットによる音響放射の目標指向性パターンに応じて非直線最適化手法により算出されたフィルタ係数が、接続される各スピーカユニットに対応して設

れる。

【0009】本願第4の発明は、共通信号入力端子と直線配列もしくは平面配列された複数のスピーカユニットとの間のそれぞれに、前記各スピーカユニットに対応して、デジタルフィルタが挿入接続されてなるスピーカ装置の指向性制御方法であって、前記複数のスピーカユニットからの音響放射の目標指向性パターンに応じた前記各デジタルフィルタのフィルタ係数を非直線最適化手法により演算する過程と、前記算出された各フィルタ係数をそれぞれ対応するデジタルフィルタに設定する過程と、を含んで構成される。

#### 【0010】

【作用】第1の発明によれば、共通入力端子に与えられた音声信号は、デジタルフィルタを経由して直線配列された各スピーカユニットに送られる。デジタルフィルタのそれぞれには、前記直線配列スピーカユニット群による音響放射の目標指向性パターンを再現するためのフィルタ係数が設定されている。このフィルタ係数は、目標指向性パターンに適合するよう非直線最適化手法によって演算され、スピーカユニットごとに異なる値に設定される。このように、各デジタルフィルタは直線配列された全てのスピーカユニットに一対一で対応して設けられており、各デジタルフィルタには目標指向性パターンに対応する固有のフィルタ係数が設定されているため、各スピーカユニットはそれぞれ別個に制御される。したがって、このフィルタ係数を目標指向性パターンに合わせて任意に変更することにより、同一スピーカ構造のままで、電氣的に指向性をより細かく制御することが可能となる。

【0011】第2の発明によれば、スピーカユニットは、縦横マトリクス状をなして平面配置されている。その結果スピーカ装置にはスピーカユニットの平面配置によって決まる指向性がもたされる。その指向性は直線配列スピーカのように一つの配列方向（例えば、水平方向）のみではなく他の配列方向（すなわち、垂直方向）にも生じる。したがって、フィルタ係数の非直線最適化手法による演算に際し、必要とする水平方向および垂直方向の指向性を加味して演算し、演算された各フィルタ係数を各デジタルフィルタに設定することにより、同一構造のままで電氣的に水平方向および垂直方向の指向性を任意に制御することができる。

【0012】第3の発明によれば、スピーカユニットは、ハニカム状をなして平面配置されている。そのため、平面配置とデジタルフィルタとの相互作用による水平方向および垂直方向の指向性の制御が可能であることに加えて、次の利点を有する。すなわち、同じ平面配列である縦横マトリクス状のスピーカ装置に比べ各スピーカユニット相互間の間隔を狭めることが可能となる。その結果、第1にスピーカ装置の小型化が可能となり、

(25)

を高くすることが可能であり、かつ、その上限周波数が各スピーカユニットにおいて均一になる。

【0013】第4の発明によれば、複数の直線もしくは平面配列されたスピーカユニットを用いたスピーカ装置の指向性を電氣的な制御により任意の方向へ制御するための有効な制御方法が開示される。

【0014】

【実施例】次に、本発明に係る各実施例を図面に基づいて説明する。

(i) 第1実施例

図1～図24に本発明に係るスピーカ装置の第1の実施例を示す。本実施例は、複数のスピーカユニットが直線状に配列されたスピーカアレイに本発明を適用した例を開示する。

【0015】図1に示すように、スピーカ装置は一つの共通入力信号端子INを有しており、この共通入力信号端子INから複数のスピーカユニットSP<sub>1</sub>～SP<sub>m</sub>のそれぞれに分岐配線され、各スピーカユニットSP<sub>1</sub>～SP<sub>m</sub>が並列駆動されるようになっている。共通入力信号端子INから各スピーカユニットSP<sub>1</sub>～SP<sub>m</sub>に到る各分岐路の信号線には、図示するように、デジタルフィルタDF<sub>1</sub>～DF<sub>m</sub>およびこれと直列なアンプA<sub>1</sub>～A<sub>m</sub>が各スピーカユニットSP<sub>1</sub>～SP<sub>m</sub>に一对一で対応して挿入接続されている。各デジタルフィルタDF<sub>1</sub>～DF<sub>m</sub>には、コントローラ1からの信号線4が接続されている。この信号線を通じてコントローラ1からは各デジタルフィルタDF<sub>1</sub>～DF<sub>m</sub>にそれぞれ固有のフィルタ係数データα<sub>hi</sub>が設定される。フィルタ係数データα<sub>hi</sub>は、メモリ2に格納されており、入力キーボード3の指示操作によってメモリ2に格納されたフィルタ係数データが順次デジタルフィルタDF<sub>1</sub>～DF<sub>m</sub>に設定される。

【0016】図2に示すように、スピーカユニットSP<sub>1</sub>～SP<sub>m</sub>は一方向（例えば、y座標軸方向）に等間隔で直線状に配列されてスピーカアレイを構成している。

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} h_i \cdot x(n-i) \quad \dots (1)$$

【0020】で与えられる。したがって、FIRフィルタは、フィルタ係数h<sub>i</sub>を変えることにより、そのフィルタ特性を任意に設定変更することができる。フィルタ係数h<sub>i</sub>は、前述のように、コントローラ1から与えられ、DSP内部のレジスタ（フィルタ係数レジスタ）に格納される。

【0021】アンプA<sub>1</sub>～A<sub>m</sub>は、各デジタルフィルタDF<sub>1</sub>～DF<sub>m</sub>の出力信号レベルを各スピーカユニットSP<sub>1</sub>～SP<sub>n</sub>を駆動するに足るレベルに増幅するためのものである。

【0022】以上の構成において、次にスピーカユニッ

各スピーカユニットSP<sub>1</sub>～SP<sub>m</sub>は好ましくは同一物理的特性、例えば当該スピーカユニットの特性を規律する諸元（口径、最底共振周波数、振動板質量等）の等しいものとする。スピーカユニットの再生周波数範囲、すなわち、ウーファスコーカ、ツイータ、あるいはフルレンジタイプとするか否かは、用途に合せて適宜選択してよい。また、図示しないが、各スピーカユニットを個々にエンクロージャに収納するか、一枚の連続バッフル板あるいは壁等に取り付けるかは、当該スピーカ装置の用途によって異なるので、適宜、必要な構成とすればよい。なお、図2において、x軸は音の放射方向、y軸は横方向（もしくは水平方向）、およびz軸は高さ方向（もしくは垂直方向）を表わすものとする。

【0017】デジタルフィルタDF<sub>1</sub>～DF<sub>m</sub>は、デジタル信号処理装置（DSP: digital signal processor）により実現され、一般的な直接型FIR（finite impulse response filter）フィルタで構成される。ハードウェア構成は、図示を省略するが、信号処理の中心となる算術演算や論理演算を行う演算ユニット（ALU: arithmetic logic unit）と、演算シーケンスを制御するためのシーケンサ（プログラムカウンタ、命令レジスタおよびデコーダを含む）と、必要なプログラムを格納するROM（read only memory）、データの格納を行うRAM（random access memory）およびデータの一次的格納を行うレジスタと、外部とのデータの授受を行うための入出力ポートと、および上記各要素を接続するバスと、を有して構成される。

【0018】直接型FIRフィルタの出力信号y(n)は、よく知られているように、i、x(n): 入力信号、h<sub>i</sub>（i=0～N-1なる正整数）とした場合、次の(1)式

【0019】

【数1】

る音の総合指向特性の制御方法について説明する。まず、制御の概要を述べると、次の通りである。スピーカアレイの総合指向特性は、各スピーカユニットSP<sub>1</sub>～SP<sub>m</sub>から放射される個々の音の音圧の集合であり、したがって各スピーカユニットSP<sub>1</sub>～SP<sub>m</sub>の出力音圧をコントロールすることにより、所望の特性とすることができる。そのために、各スピーカユニットSP<sub>1</sub>～SP<sub>m</sub>に接続されたデジタルフィルタDF<sub>1</sub>～DF<sub>m</sub>のフィルタ係数を求める目標指向性パターンに適合する値に設定する。正しいフィルタ係数を求めるためには、実際のスピーカアレイから音を出し、その出力音をマイク

タ係数を算出する。そこで、スピーカアレイの出力音圧の観測システムを構成し、得られた出力音圧を用いて実指向性を評価しつつ実指向性が目標指向性に一致（近似）するフィルタ係数を求める必要がある。そして、目標指向性が数多く存在する場合には、その都度（あるいは予め）当該目標指向性に適合するフィルタ係数を求めておかなければならない。以下、観測システムの構成と計算アルゴリズムについて順次説明する。

【0023】〈1〉 観測システムの構成

図1に示すように、XY平面（水平方向）上に展開する実指向性パターンを観測するために、スピーカユニット

$$H_{yn}(\omega) = \sum_{m=1}^M H_{fm}(\omega) \cdot H_{smn}(\omega) \quad \cdots (2)$$

【0026】ここに、 $H_{fm}(\omega)$  : m番目のデジタルフィルタの伝達関数

$H_{smn}(\omega)$  : m番目のデジタルフィルタの出力端からn番目の観測点のマイクロフォンまでの伝達関数

〈3〉 一方、実指向性 $H_{yn}(\omega)$ が目標指向性に一致しないしは近似するか否かを評価するために、評価関数 $f$

$$f(\omega) = \sum_{n=1}^N C_i \{ |H_{yn}(\omega)| - G_i \}^2 \quad \cdots (3)$$

【0028】ここに、 $C_i$ は重み係数であり、観測時に任意に設定する値である（図3、ステップ101）。この重み係数 $C_i$ は大きな値とするほど近似度が上る。 $G_i$ は観測点 $i$ における目標音圧値[dB]であり、換言すれば目標指向性に相当する。この目標音圧値 $G_i$ は各観測点 $n=1 \sim N$ について目標指向性パターンを構成するよう事前に設定する値である（図3、ステップ100）。

【0029】〈4〉 さて、目標指向性パターンを実現するための最適なフィルタ係数を求めることは、評価関数 $f(\omega)$ を最適化するかわり最小化することに他ならないから、評価関数 $f(\omega)$ を最小化する実指向性 $H_{yn}(\omega)$ を計算により求める（図3、ステップ105、106、107）。計算手法は非直線最適化手法によるが、非直線最適化アルゴリズムとしては、種々ある手法

$$H_{fm}(\omega) = R_{\max}(\omega) \cdot \sin(X_m(\omega)) \cdot \exp(j\theta_m(\omega)) \quad \cdots (4)$$

【0033】ここに、 $R_{\max}(\omega)$  :  $H_{fm}(\omega)$ の振幅の最大値

$$[R_{\max}(\omega) = 2 \times r / m]$$

$r$  : スピーカから観測点までの距離（図1）

$X_m(\omega)$  : パラメータ

$\theta_m(\omega)$  :  $X_m(\omega)$ と $H_{fm}(\omega)$ の位相

〈6〉 スピーカおよび放射空間の伝達関数 $H_{smn}$

$SP_1 \sim SP_m$ の前方に半径 $r$  [m]の距離を置いて適当な角度 $\theta$ に分割された複数の観測点 $n=1 \sim N$ を設定する。各観測点 $n$ にはマイクロフォンを配置し、各観測点でのスピーカアレイからの音圧を観測する。各マイクロフォンから出力される音圧信号は、スピーカアレイの実指向性 $H_{yn}(\omega)$ としてとらえることができる。

【0024】〈2〉 実指向性 $H_{yn}(\omega)$ は次の（2）式で表わされる（図3、ステップ105）。

【0025】

【数2】

$(\omega)$ を設定する。評価関数 $f(\omega)$ は、次式で表わされる。

【0027】

【数3】

のうち、「Broydon-Fletcher-Goldfarb-Shanno 法」や「Davidon-Fletcher Powell 法」が好ましい。

【0030】式（3）において、計算に必要な重み係数 $C_i$ および目標音圧値 $G_i$ は予め与えられるので（図3、ステップ100、101）、評価関数 $f(\omega)$ を計算するには、まず、実指向性 $H_{yn}(\omega)$ を求めなければならない。実指向性 $H_{yn}(\omega)$ は、式（2）に示す通り、デジタルフィルタの伝達関数 $H_{fm}(\omega)$ およびスピーカとその放射空間の伝達関数 $H_{smn}(\omega)$ から求められる。

【0031】〈5〉 デジタルフィルタの伝達関数 $H_{fm}(\omega)$ は次式で表わされる。

【0032】

【数4】

$(\omega)$ は、スピーカユニットの口径 $a$ 、配置および観測点が定まれば、無限大剛壁中の円形振動板のピストン運動モデルにより近似値として求めることができる。円形振動板からの音圧 $P(r, \theta)$ は次式で与えられる。

【0034】

【数5】

(27)

$$P(r, \theta) = \frac{2J(ka \sin \theta)}{ka \sin \theta} \cdot \frac{\exp(jkr)}{r} \quad \dots (5)$$

【0035】ここに、 $J$ ：ベッセル関数

$k$ ：波長定数（音速／角周波数）

$a$ ：スピーカユニットの口径（直径）

上記（5）式で求めた音圧 $P(r, \theta)$ をスピーカおよび放射空間の伝達関数 $H_{smn}(\omega)$ として用いる（図3、ステップ103）。

【0036】<7> （4）式で得られた伝達関数 $H_{fm}(\omega)$ （図3、ステップ104）は周波数伝達関数であ

$$T = L \cdot \Delta t$$

とする。ここに、 $L$ ：FIRフィルタのタップ長、 $\Delta t$ ：サンプリング時間である。

【0038】<9> このようにして信号処理されたインパルス応答 $h(t)$ を $\Delta t$ の周期でサンプリングし、そのサンプル値（振幅）に適当な定数 $\alpha$ をかけて、係数 $\alpha h_i$ を求める（図3、ステップ110）。ここに、 $i=1 \dots L$ である。この信号処理は、インパルス応答 $h(t)$ がオーバーフローしたり、あるいは小さ過ぎて $S/N$ 比が悪化して誤差の増大を招くことを防止するための処理である。

【0039】<10> <9> で得られた係数 $\alpha h_i$ をフィルタ係数として各デジタルフィルタに設定する（図3、ステップ111、112）。以上の手続を各観測点 $n=1 \sim N$ ごとにくり返し、得られたフィルタ係数 $\alpha h_i$ を各デジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ に設定する。

【0040】<11> このようにしてフィルタ係数 $\alpha h_i$ が設定されたデジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ を介し、コントローラ1からの信号を各スピーカユニット $SP_1 \sim SP_m$ に与えることで、スピーカアレイから必要な指向性パターンを得ることができる。

【0041】上記一連の手順により求められたフィルタ係数 $\alpha h_i$ を各デジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ に設定した場合の各デジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ の周波数応答特性の例を図5～図13に示す。なお、スピーカアレイのスピーカユニットの個数は9個であり、それらの各スピーカユニットに対応するデジタルフィルタの順番を $m=1 \sim 9$ で示してある。各図において、AはFIRフィルタの振幅特性、BはFIRフィルタの位相特性を示しており、これに併記して参照のためアナログフィルタの振幅特性 $a$ およびアナログフィルタの位相特性 $b$ を示してある。

【0042】次に、図5～図13に示す特性を有するデジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_m$ を用いて、共通入力信号端子INに与えられた音声信号の2次元（XY平面）指向性パターンを周波数別に表わした図を図14～図18に示す。各図において、 $\dots x \dots x \dots$ が目標パターン、 $\dots o \dots o \dots$ が実パターンを示している。これらの図から

るから、これを逆高速フーリエ変換（FFT<sup>-1</sup>）してインパルス応答 $h(t)$ に変換する（図3、ステップ108）。

【0037】<8> 次に、図4に示すように、<7> で求められたインパルス応答 $h(t)$ にハニング窓等の必要な窓 $W(t)$ をかける（図3、ステップ109）。このとき、窓 $W(t)$ の時間長 $T$ は

$$\dots (6)$$

るものの、希望する指向性に対応する指向性が低周波数帯域（20Hz）から中周波数帯域（1400Hz）に亘って得られた。

【0043】さらに、理解を助けるために、同じ9個の直線配列スピーカアレイの指向性パターンを同じ周波数パラメータにおいて3次元で観察した場合の特性図を図19～図24に示す。各図からわかるように、XY平面上、約45°方向に指向性をもち、Z軸方向は半球形の均一な分布を示している。

【0044】(ii) 第2実施例

図25～図30に、本発明に係るスピーカ装置の第2の実施例を示す。本実施例は、複数のスピーカユニットが縦横マトリクス状（あるいは、格子状位置）に配列されてなるスピーカアレイに本発明を適用した例を開示する。

【0045】図25に示すように、スピーカ装置は一つの共通入力信号端子INを有しており、この共通入力信号端子INから複数（図では $9 \times 9 = 81$ 個）のスピーカユニット $SP_{11} \sim SP_{99}$ のそれぞれに分岐配線され、各スピーカユニット $SP_{11} \sim SP_{99}$ が並列駆動されるようになっている。共通入力信号端子INから各スピーカユニット $SP_{11} \sim SP_{99}$ に到る各分岐路の信号線には、図25に示すように、縦方向（Z方向）に対応してZ方向の指向性を決定するためのデジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_9$ が介在されており、かつ、このデジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_9$ の出力端からさらに分岐されて各スピーカユニット $SP_{11} \sim SP_{99}$ に到る信号線路には各行方向にY方向の指向性を決定するためのデジタルフィルタ $DF_{11} \sim DF_{19}$ 、 $DF_{21} \sim DF_{29} \dots DF_{91} \sim DF_{99}$ とそれぞれに直列接続されたアンプ $A_{11} \sim A_{19}$ 、 $A_{21} \sim A_{29} \dots A_{91} \sim A_{99}$ が接続されている。これらZ方向のデジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_9$ とY方向のデジタルフィルタ $DF_{11} \sim DF_{99}$ の各特性を合成したとき、1つのスピーカに対して1個のデジタルフィルタおよびアンプが接続されたのと等価である。図示しないが、各デジタルフィルタ $DF_1 \sim DF_9$ および $DF_{11} \sim DF_{99}$ には、第1実施例（図1）と同様に、信号線を介してコ

タ係数データ  $\alpha h_i$  が入力キーボード 3 の操作によりコントローラ 1 を通じて設定される。

【0046】スピーカユニット  $SP_1 \sim SP_m$  は、2次元方向 ( $y-z$  平面) に互に等しい間隔を置いて縦横マトリクス状に平面配置されてスピーカアレイを構成している。第1実施例と同様に、各スピーカユニット  $SP_1 \sim SP_m$  は、好ましくは、同一物理的特性を有することとし、取付躯体であるエンクロージャへの収納あるいは壁面取付け等の固定構造は用途に応じて適宜必要な態様とすることができる。また、再生周波数範囲も必要に応じて任意に選択する。なお、図25に示す座標軸において、 $x$  軸は音の放射方向、 $y$  軸は横方向 (水平方向)、および  $z$  軸は縦方向 (垂直方向) を示している。

【0047】デジタルフィルタ  $DF_1 \sim DF_m$  は、第1実施例と同様にDSPを用いた直接型FIRフィルタを用いる。アンプ  $A_1 \sim A_m$  も同様であり、適当な増幅率を有する電力増幅を用いる。

【0048】指向性制御の方法も、第1実施例と同様であり、先に示した<1>～<11>の手順で、図3のフローに従ってフィルタ係数  $\alpha h_i$  を算出し、各デジタルフィルタ  $DF_1 \sim DF_m$  に設定する。

【0049】また、上記手順によって算出されたフィルタ係数  $\alpha h_i$  を設定した場合の各デジタルフィルタ  $DF_1 \sim DF_m$  の周波数応答は、第1実施例における図4～図12の例を援用する。

【0050】次に、スピーカユニットを縦9個、横9個の合計81個使用したスピーカアレイによる指向性制御の結果例を図25～図31に示す。これらの例は、目標指向性をXY平面上約75°、yz平面上約60°、正面からみて (スピーカアレイに向かって) おおむね右上の位置にもたせた例である。図からわかるように、サイドローブの分布も含まれるものの、低周波数帯域 (100Hz付近) から中周波数帯域 (1400Hz) にわたって良好な指向性を示している。なお、この例での観測システムにおけるマイクロフォンは、図25において、アレイの中心位置から所定距離だけ離れた位置を中心とする球面上に配置する。

#### 【0051】(iii) 第3実施例

図32～35に、本発明に係るスピーカ装置の第3の実施例を示す。本実施例の特徴は、ハニカム状のスピーカアレイを用いる点にある。

【0052】すなわち、図32に示すように、複数のスピーカユニットが千鳥状位置に互違いに配置され、図33に示すように、全体として各スピーカユニットが多重六角形の各対辺上に整列する形となる。

【0053】このように、ハニカム状配置のスピーカアレイとした場合、隣接するスピーカユニット相互の間隔は、図35に示す格子状配置のスピーカアレイに比べて  $\sqrt{3}/2 = 0.866$  倍の大きさとなる。スピーカユニ

ピーカアレイが点音源に近づくことを意味し、特性面では指向性制御可能な周波数の上限が上昇し、形状、寸法面では小型化ないしはスピーカユニット数の削減につながることで格子状配置のスピーカアレイに比べて有利となる。

【0054】図34は、合計61個のスピーカユニットをハニカム状に配置したスピーカアレイ (図33) の誤差評価関数値の周波数特性例を示した図であるが、同図からわかるように、指向性制御可能な上限周波数は0°軸上および30°軸上共に高く約1800Hzまでのびている。なお、この例での観測システムのマイクロフォンは、スピーカアレイの中心位置から所定距離だけ離れた位置を中心とする球面上に配置する。

【0055】これに対し、格子状配置のスピーカアレイの場合は、合計81個のスピーカユニットを用い、その特性は図36に示すように、指向性制御可能な上限周波数は0°軸上では1800Hzとなっているものの45°軸上では1500Hzに低下してしまう。

【0056】このように、格子状配置のスピーカアレイでは指向性制御可能な上限周波数にバラツキが生じ、かつ、スピーカユニット数に無駄がでるが、ハニカム状配置では上限周波数が共に高く、かつ、スピーカユニット数が少なくよい。

【0057】なお、デジタルフィルタ  $DF_1 \sim DF_m$  として直接型FIRフィルタを用い、指向性の制御方法として<1>～<11>のアルゴリズムに従って、必要なフィルタ係数  $\alpha h_i$  を算出して各デジタルフィルタ  $DF_1 \sim DF_m$  に設定することは、第1、第2の各実施例と同様であり、それらの図示ならびに説明を援用する。

#### 【0058】

【発明の効果】以上の通り、第1の発明によれば、直線配列された各スピーカユニットに接続されたデジタルフィルタに所望の指向性パターンを実現するためのフィルタ係数が設定されるため、きめの細かい指向性制御を同一スピーカ構造のまま電気的に行うことができ、かつ、フィルタ係数の変更により任意の指向性パターンを得ることが可能となる。

【0059】第2の発明によれば、縦横マトリクス状の平面スピーカアレイを用い、水平方向のみならず垂直方向の指向性パターンをスピーカ装置の構造配置を変えることなく、電気的に制御することができる。

【0060】第3の発明によれば、ハニカム状の平面スピーカアレイを用い、水平方向のみならず、垂直方向の指向性パターンを電気的に制御することが可能であり、加えて縦横マトリクス状 (格子状) のスピーカアレイの場合に比べて指向性制御可能な上限周波数の値を高くすることが可能となり、かつ、使用ユニット数を削減することが可能となる。

【0061】第4の発明によれば、複数のスピーカユニ

方向への指向性の制御が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係るスピーカ装置の実施例を示すブロック図である。

【図 2】本発明の第 1 実施例に係る直線配列型スピーカ装置の外観を示す斜視図である。

【図 3】本発明に係る指向性制御アルゴリズムを示すフローチャートである。

【図 4】ハニング窓の説明図である。

【図 5】本発明に係る FIR フィルタ ( $m=1$ ) およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図 6】本発明に係る FIR フィルタ ( $m=2$ ) およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図 7】本発明に係る FIR フィルタ ( $m=3$ ) およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図 8】本発明に係る FIR フィルタ ( $m=4$ ) およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図 9】本発明に係る FIR フィルタ ( $m=5$ ) およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図 10】本発明に係る FIR フィルタ ( $m=6$ ) およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図 11】本発明に係る FIR フィルタ ( $m=7$ ) およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図 12】本発明に係る FIR フィルタ ( $m=8$ ) およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図 13】本発明に係る FIR フィルタ ( $m=9$ ) およびアナログフィルタの周波数応答を示す特性図である。

【図 14】第 1 実施例のスピーカ装置の 20 [Hz] における 2 次元指向性パターンを示す特性図である。

【図 15】第 1 実施例のスピーカ装置の 100 [Hz] における 2 次元指向性パターンを示す特性図である。

【図 16】第 1 実施例のスピーカ装置の 400 [Hz] における 2 次元指向性パターンを示す特性図である。

【図 17】第 1 実施例のスピーカ装置の 1200 [Hz] における 2 次元指向性パターンを示す特性図である。

【図 18】第 1 実施例のスピーカ装置の 1400 [Hz] における 2 次元指向性パターンを示す特性図である。

【図 19】第 1 実施例のスピーカ装置の目標 3 次元指向性パターンを示す特性図である。

【図 20】第 1 実施例のスピーカ装置の 20 [Hz] における 3 次元指向性パターンを示す特性図である。

【図 21】第 1 実施例のスピーカ装置の 100 [Hz]

における 3 次元指向性パターンを示す特性図である。

【図 22】第 1 実施例のスピーカ装置の 400 [Hz] における 3 次元指向性パターンを示す特性図である。

【図 23】第 1 実施例のスピーカ装置の 1200 [Hz] における 3 次元指向性パターンを示す特性図である。

【図 24】第 1 実施例のスピーカ装置の 1400 [Hz] における 3 次元指向性パターンを示す特性図である。

【図 25】本発明の第 2 実施例に係る 2 次元配列型スピーカ装置の外観を示す斜視図である。

【図 26】第 2 実施例のスピーカ装置の目標 3 次元指向性パターンを示す特性図である。

【図 27】第 2 実施例のスピーカ装置の 20 [Hz] における 3 次元指向性パターンを示す特性図である。

【図 28】第 2 実施例のスピーカ装置の 100 [Hz] における 3 次元指向性パターンを示す特性図である。

【図 29】第 2 実施例のスピーカ装置の 400 [Hz] における 3 次元指向性パターンを示す特性図である。

【図 30】第 2 実施例のスピーカ装置の 1200 [Hz] における 3 次元指向性パターンを示す特性図である。

【図 31】第 2 実施例のスピーカ装置の 1400 [Hz] における 3 次元指向性パターンを示す特性図である。

【図 32】本発明の第 3 実施例に係るスピーカ装置の一部を示す正面図である。

【図 33】ハニカム状スピーカアレイの配置例を示す説明図である。

【図 34】ハニカム状スピーカアレイの誤差評価関数の周波数特性図である。

【図 35】格子状スピーカアレイの配置例を示す説明図である。

【図 36】格子状スピーカアレイの誤差評価関数の周波数特性図である。

【符号の説明】

$A_1 \sim A_m$  …アンプ

$DF_1 \sim DF_m$  …デジタルフィルタ

IN…共通入力信号端子

SP、 $SP_1 \sim SP_m$  …スピーカユニット

1…コントローラ

2…メモリ

3…入力キーボード

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record.**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**